Z uprzejmymi wyrazami od autora

M. SMOLUCHOWSKI.

ZARYS NAJNOWSZYCH POSTĘPÓW FIZYKI.

ODBITKA Z „MUZEUM“.

LWÓW.
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE UL. LINDEGO L. 4.
1907.

M. SMOLUCHOWSKI.

ZARYS

NAJNOWSZYCH POSTĘPÓW FIZYKI.

ODBITKA Z „MUZEUM“.

LWÓW.
Z I. ZWIĄZKOWEJ DRUKARNI WE LWOWIE UL. LINDEGO L. 4.
1907.

I.

W całej historyi nauk mało znajdziemy przykładów tak nagłej i doraźnej ewolucyi jak tej, która obecnie we fizyce się odbywa. Niejeden wychowany w poglądach fizyki z przed kilkunastu lat może nawet odnieść wrażenie, że nastąpiła nie ewolucya lecz zupełna, radykalna rewolucya w naszym światopoglądzie fizykalnym.

Z jednej strony runął dogmat, uważany za święty przez dotychczasową chemię, o niezmienności pierwiastków chemicznych, i spełniło się marzenie dawnych alchemistów: przemiana jednego pierwiastka chemicznego w inny. W skutek tego sama nazwa „pierwiastek chemiczny“ straciła znaczenie pierwotne i, podobnie jak słowo „atom“, została złożona do składu owych licznych wyrażeń przeżytych, któremi się jeszcze posługujemy, ażeby nie potrzeba wymyślać nowej terminologii, ale z któremi nie łączymy już pojęcia pierwotnego, odpowiadającego etymologicznemu znaczeniu słowa.

Z drugiej strony runęło naczelne prawo mechaniki Newtonowskiej, prawo niezmienności masy, do którego umysł ludzki już tak się przyzwyczaił, że nie brakło nawet usiłowań, ze strony niektórych płytko rozumujących filozofów, aby je pod nazwą prawa niezmienności „materyi“ przedstawić jako prawdę przez się a priori zrozumiałą. Co więcej, pojęcie masy mechanicznej i z nim się łączące — czyli raczej z nim pogmatwane — metafizyczne pojęcie materyi, owego namacalnego „substratu zjawisk fizycznych“, który niektórzy filozofowie uważali za to jedyne co rzeczywiście *istnieje*, w dziwnem oświetleniu się przedstawia ze stanowiska fizyki obecnej: ulatnia się to pojęcie jakoby mara, widziadło, a odnosimy wrażenie, że właściwą podstawą zjawisk natury to jest *elektryczność*, i że to tylko siły elektryczne nas zwodziły, łudząc nas, że istnieje jakiś świat materyalny, kierowany niezłomnemi prawami mechaniki.

Na pytanie, co spowodowało takie fundamentalne zmiany w naszym światopoglądzie, odpowiedzieć można dwoma słowami: teorya elektronów. Dzięki rozwojowi tej teoryi i badań doświadczalnych z nią połączonych, elektryczność wysunęła się na naczelne miejsce we fizyce, i od niej należy rozpocząć, chcąc rozumieć kierunek postępów obecnych.

Nazwa tej teoryi pochodzi z charakterystycznego dla niej poglądu, że elektryczność nie jest fluidum ciągłem, lecz składa się z drobnych, niepodzielnych cząstek, atomów elektrycznych, czyli elektronów. Ale to stanowi tylko jedno, najłatwiej w słowa dające się ująć, z jej założeń; również zasadnicze znaczenie mają jej założenia co do działania sił elektromagnetycznych, o których trudno dać choć przybliżone pojęcie bez użycia wzorów matematycznych. Pod tym względem zaś można tę teoryę uważać za wydoskonalenie, w kierunku atomistycznym, teoryi elektryczności Maxwella. W celu lepszego jej zrozumienia zaczniemy zatem przedewszystkiem od historycznego poglądu na rozwój teoryi Maxwella.

Początkowo zjawiska elektrostatyki, galwanizmu, elektromagnetyzmu, elektrodynamiki i indukcyi tworzyły odrębne dziedziny, podlegające różnym prawom, doświadczalnie poznanym, ale między sobą nie powiązanym. Później niemieccy badacze Weber, Gauss, Riemann, Neumann i Clausius starali się złączyć je w całość jednolitą, tłumacząc owe zjawiska jako objawy sił pewnego rodzaju, wywieranych na odległość przez elektryczność w ruchu będącą. Z takich hipotez co do działania sił elektromagnetycznych zwłaszcza Webera „Grundgesetz“ nabyło rozgłosu.

W przeciwstawieniu do owych dążności Maxwell zdołał ująć całokształt owych zjawisk w jednolity system, porzucając pojęcie „actionis in distans“ i tłumacząc wszystko przez przenoszenie sił zapomocą eteru z punktu na punkt przylegający — lub jak w języku matematyki się wyrażamy: ujmując prawa owych zjawisk w równania różniczkowe.

Ażeby objaśnić znaczenie dwóch równań różniczkowych, stanowiących jądro teoryi Maxwella, mianowicie:

$$K\frac{\partial X}{\partial t}+\lambda X=\frac{\partial N}{\partial y}-\frac{\partial M}{\partial z}$$

$$\mu\frac{\partial L}{\partial t}=\frac{\partial Y}{\partial z}-\frac{\partial Z}{\partial y}$$

(w których $X, Y, Z,$ są składowe siły elektrycznej, $L, M, N,$ składowe siły magnetycznej, λ spółczynnik przewodnictwa, K, μ stała

dielektryczna i magnetyczna) zaznaczę, że pierwsze wyraża znaną zasadę elektromagnetyzmu — że praca wykonana przez biegun jednostkowy magnetyczny przy okrążeniu przewodnika jest proporcyonalną do prądu przez tegoż przepływającego, — a drugie zasadę indukcyi, — że siła elektromagnetyczna indukowana w przewodniku zamkniętym równa się zmianie linij indukcyi magnetycznej przechodzących przez jego powierzchnię.

Te zasady same przez się już dawno przed Maxwellem były znane, ale jego dziełem jest ujęcie ich we formę równań różniczkowych, oraz pewna poprawka w pierwszem równaniu, o której dalej będzie mowa, i dowód, że te równania w połączeniu z zasadą zachowania energii, ujętą w stosowną formę, wystarczą do wyprowadzenia praw Coulomba, Ohma, Joule'a, Biot-Savarta, że zastępują Ampera prawo elektrodynamiki, Faradaya i Neumanna prawa indukcyi, jednem słowem: że obejmują całokształt klasycznych zjawisk elektromagnetycznych, a oprócz tego przewidywać dają jeszcze pewne inne zjawiska, za Maxwella jeszcze nieznane[1]).

Przewidywanie to opiera się właśnie na wspomnianej poprawce, polegającej na umieszczeniu wyrażenia $K\frac{\partial X}{\partial t}$ w owem pierwszem równaniu, co znaczy, że według Maxwella oprócz zwykłego prądu galwanicznego (według Ohma proporcyonalnego do siły elektrycznej X, a zatem λX) istnieje także jeszcze t. zw. prąd polaryzacyi, występujący w izolatorach przy zmianie siły elektrycznej (i równający się iloczynowi ze zmienności czasowej tej siły w stałą dielektryczną K), i że prąd ten takie same skutki magnetyczne wywołuje jak prąd galwaniczny[2]). Analiza matematyczna na podstawie tych założeń dochodzi do wniosku, że siły

---

[1]) Jako podręczniki do nauki o elektryczności (zgodne z zapatrywaniami Maxwella) polecić należy: J. J. Thomson, Elemente d. math. Theorie d. Elektricität und d. Magnetismus (414 S.), Leipzig Vieweg 1897. Mk. 8. — lub Classen Theorie d. Electricität u. d. Magnetismus 2 vol. Leipzig Göschen 1904, razem Mk. 12. —; jako świetnie napisane dzieło, dające jednak wyłącznie zarys charakterystycznych poglądów Maxwella: M. Abraham, Theorie d. Elektricität, Bd. I., Teubner (1904) Mk. 12. —; doświadczalna i techniczna strona przedmiotu jest przedstawiona w zwięzły sposób ze stanowiska poglądów nowoczesnych w Stark'a Experim. Elektriticitätslehre. Teubner. 1904, 422 str. 6 Mk.

[2]) Sprawdzenie bezpośrednie tej genialnej hipotezy Maxwella rozbijało się dotychczas o trudności doświadczalne. Staranne pomiary Whiteheada (1906) dały

elektromagnetyczne muszą się rozchodzić na odległość z prędkością ściśle określoną (równą prędkości światła: w próżni 300.000 km. na sekundę), podobnie jak wstrząśnienia w ciałach sprężystych się rozchodzą z prędkością głosu — a z tem wiąże się rezultat, że przy odpowiednich warunkach powstać muszą drgania i fale elektromagnetyczne, t. j. peryodycznie zmienne stany napięcia elektrycznego, zupełnie analogiczne do zjawisk akustycznych, z tą jednak różnicą, że nie są to fale podłużne lecz poprzeczne.

Jak wiadomo przewidywania te Maxwella sprawdzone zostały przez Hertza w jego sławnych doświadczeniach nad falami elektrycznemi, co dla nauki tę miało konsekwencyę, że ustąpić musiały dawne teorye „actionis in distans“, i przyjęto teoryę Maxwella jako jedyną, która te zjawiska tłumaczy; a także w tem Maxwellowi racyę przyznano, że zjawiska optyczne w najwłaściwszy sposób się tłumaczą przez przyjęcie, że światło polega właśnie na takich falowaniach elektrycznych (patrz rozdz. II.).

Nawet elektrotechnika obecna nietylko przesiąkła na wskróś pojęciami Faradaya i Maxwella, uprzystępniającemi tak znakomicie zrozumienie zjawisk elektromagnetycznych (jak linie siły elektrycznej, linie indukcyi magnetycznej, analogia przewodników galwanicznych i magnetycznych i t. p.), ale właśnie środki do wytwarzania owych fal elektrycznych[1]) i dostrzegania ich tak dalece w ostatnich latach wydoskonaliła (zwłaszcza przez wynalezienie t. zw. kohererów), że zjawiska te jako „telegrafia bez drutu“ coraz poważniejszego handlowo-ekonomicznego znaczenia nabywają, a nawet już pewną historyczną rolę odegrały podczas ostatniej wojny japońsko rosyjskiej.

Na tem polu drgań elektrycznych okazała się właściwa płodność poglądów Maxwella, zwłaszcza we wykryciu związków między światem elektryczności i optyki, ale z drugiej strony te właśnie zjawiska także dowiodły, że teorya ta nie jest jeszcze wykończoną, że forma, którą jej nadał Maxwell, stanowi tylko pewne prowizoryum. O ile chodzi o drgania Hertza (i wogóle

---

wprawdzie wynik dodatni, ale jeszcze z powodu swej małości nie dość przekonywujący. Właściwym dowodem jest sprawdzenie pośrednie, na podstawie drgań Hertza.

[1]) Popularny wykład o tych zjawiskach, z ogólnym wstępem o nowoczesnej teoryi elektryczności daje Geitler w książce: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Vieweg 1905, 121 str. 5 Mk. 20, podobnie Richarz: Neuere

o stany eteru), zdaje się ona być bez zarzutu, ale jeżeli chcemy nią objąć także drgania 10 000 razy szybsze, które odpowiadają zjawiskom optyki, dochodzimy do wniosku, że owe trzy spółczynniki, które w równaniach powyżej przytoczonych charakteryzują różne materyały (stała dielektryczna, magnetyczna, i przewodnictwo właściwe), nie mogą wystarczyć do oddania tych nadzwyczajnie skomplikowanych właściwości optycznych, jakie różne środki materyalne okazują (dyspersya, tysiące linij we widmach pewnych pierwiastków). A równocześnie ukazuje się tu droga do dalszego postępu, gdyż te właściwości niewątpliwie zależą od struktury atomistycznej ciał i od budowy atomów samych. A że te tak zwane atomy chemiczne muszą posiadać wewnętrzną budowę złożoną, to wydawało się konkluzyą koniecznie wynikającą ze skomplikowanej struktury widma przez nie wydawanego, jak i z wielkiej komplikacyi praw absorpcyi i dyspersyi optycznej.

Tą drogą argumentacyi Lorentz już w swych pracach z r. 1878 doszedł do wniosku, że teoryę elektryczności należy wykształcić w kierunku atomistycznym, przez uwzględnienie wewnętrznej budowy materyi, i w tym kierunku coraz śmielej postępował w swych późniejszych pracach i obejmując coraz szerszy zakres zjawisk optycznych i elektrycznych.

Złączyły się z tym tokiem myśli pewne zapatrywania, które zrodziły się na zupełnie innem polu, z rozważań nad pewnemi zjawiskami wówczas nieco oderwanemi od głównego działu zjawisk elektromagnetycznych.

Zarodek teoryi o atomistycznym składzie elektryczności tkwi już w Faradaya prawach o elektrolizie, ale dopiero Helmholtz (1880) tę konsekwencyę zauważył i wyraźnie wypowiedział. Sam ten fakt, że każdy atom jakiegobądź pierwiastka jednowartościowego, czy to wodoru, czy chloru, sodu, potasu i t. d., taką samą ilość elektryczności transportuje — a każdy atom pierwiastka wielowartościowego pewną jej wielokrotność — nasuwa jako wytłumaczenie najprostsze tę myśl, że elektryczność nie jest fluidum

Fortschritte auf d. Gebiete d. Elektricität, 2 Aufl. Teubner (1902), 128 str. Mk. 1·50. Gruntowniejszem i obfitszem w szczegóły techniczne jest dziełko: Fleming, Elektrische Wellentelegraphie, Teubner (1906) 185 str. Mk. 5·—. Rozmaite nowsze wynalazki elektrotechniczne omawia Ruhmer w: Neuere elektrophysikalische Erscheinungen, Berlin (1902), 171 str. Mk. 4.—.

ciągłe lecz składa się z cząstek elementarnych o takim właśnie ładunku.

Wielkość tego ładunku elementarnego (Elementarquantum d. Elektricität) łatwo nawet obliczyć z ilości elektryczności potrzebnej do wydzielenia 1 cm^3 wodoru (2·60 . 10^{10} jednostek elektrostatycznych) i z liczby drobin wodoru zawartych w 1 cm^3. Według teoryi kinetycznej gazów liczba ta wynosi 4.10^{19} (Jeans), z czego wynika ów nabój elementarny: 3·3 . 10^{-10} jedn. elektrost. Jak małą jest ta ilość, ocenimy zważając, że iskra, którą wyciągamy z okładki elektroforu skromnych rozmiarów, reprezentować może nabój rzędu kilkuset jednostek elektrostatycznych.

Wówczas jednak na te spekulacye mało zwracano uwagi, uważano je za fantastyczne, zwłaszcza, że Ostwald na czele t. zw. szkoły energetyków, rozpoczął walkę przeciwko atomistycznym poglądom na istotę materyi, i nie zauważono nawet pojawienia się fundamentalnych prac Lorentza (1892, 1895) w których teorya elektronów, a zwłaszcza zastosowanie jej do optyki systematycznie zostały rozwinięte. Dopiero trzy wstrząsające odkrycia: promieni Röntgena (1895), promieni Becquerela (1896) i zjawiska Zeemanna (1896) (patrz rozdz. II.) przebudziły uczonych z ich konserwatywnego kwietyzmu. Zapoznano się z teoryą Lorentza, dla której Zeemanna odkrycie stanowiło jaskrawe sprawdzenie; a równocześnie zajęto się badaniami J. J. Thomsona nad promieniami katodowymi, będącemi pogłębieniem poglądów, które już 1879 Crookes w swych poszukiwaniach nad „czwartym stanem skupienia“ wypowiedział i które długo, zwłaszcza przez niemieckich uczonych były zwalczane, a nawet wydrwiwane.

Dowody, prawie możnaby powiedzieć namacalne, których dostarczono, przekonały sceptyków. W ciągu kilku lat powszechnie przyjęto teoryę elektronów jako ostatni wykwit nauki; ogół uczonych, eksperymentalistów i teoretyków, skierował swą pracę w kierunku przez nią wskazanym, a przyznać trzeba, że okazała się dotychczas nieomylnym przewodnikiem w labiryncie najróżnorodniejszych i najdziwniejszych zjawisk, jakie na tem polu w ostatnim dziesięcioleciu wykryto[1]).

---

[1]) Ogólny pogląd na teoryę elektronów daje przystępnie pisana, zajmująca broszurka Lorentza: Ergebnisse und Probleme d. Elektronentheorie, Berlin Springer (1905), 59 str. Mk. 1·50; krótki zarys teoryi daje: Bucherer: Mathem. Einführung i. d. Elektronentheorie, Teubner (1904) 148 str. Mk. 3·20; obszer-

Teorya elektronów zapatruje się zatem na ciała materyalne, jakby je widziała pod olbrzymio powiększającym mikroskopem. Suponuje, że przestrzeń jest wypełniona eterem wszystko przenikającym a zupełnie nieruchomym, i dla tego eteru przyjmuje te same równania elektromagnetyczne, co i Maxwell (to znaczy równania str. 2), podstawiając tam K i μ równe jedności, λ rewne zero). W tym eterze znajdują się ruchome ciała elementarne, owe elektrony (Thomson nazywa je corpuscules), posiadające pewną masę mechaniczną i pewien ładunek elektryczny ujemny, o wielkości powyżej obliczonej. Atomy materyalne są to kombinacye utworzone z wielkiej liczby takich elektronów, zachowujące się na zewnątrz neutralnie pod względem elektrycznym. Wychodząc z punktu widzenia hipotezy dualistycznej trzeba oczywiście także przyjąć istnienie elektronów dodatniej elektryczności w równoważnych ilościach, ale o właściwościach tychże mniej dotychczas wiemy, gdyż oddzielania się pojedyńczych takich cząstek elementarnych od atomów dotychczas tylko u ujemnej elektryczności dowieść można było, i to jest w związku z charakterystycznemi różnicami w zachowaniu się dodatniej a ujemnej elektryczności. Anion elektrolityczny (Cl, NO_3, SO_4 i t. d.) jest to właśnie taki atom, czy grupa atomów, która się połączyła z jednym, czy też dwoma, trzema... elektronami nadliczbowymi ujemnymi (zależnie od wartościowości), a kation (H, Na, Cu....) jest atomem, czy też układem atomowym posiadającym takiż brak w ich liczbie.

Jako przykład, jak zgodnie z temi przyjęciami, strukturę atomu sobie wyobrazić możemy, wskażę na genialną hipotezę J. J. Thomsona[1]), do której później jeszcze powrócimy.

Do zasadniczych założeń teoryi należy jeszcze twierdzenie, które także już Maxwell otrzymał, przez zastosowanie swych zapatrywań do ciał w ruchu będących: że transport elektryczności, polegający na ruchu ciał naładowanych, jest równoważnym — co

---

niejsze przedstawienie teoryi: Abraham, Theorie d. Elektricität, Bd. II. Teubner (1905) 404 str. Mk. 10·—; i Lorentz w Encyclopädie d. mathem. Wissenschaften (Teubner) Bd. V. 2. Heft 1. (1904). Od roku 1904 wychodzi: Jahrbuch d. Radioaktivität u. Elektronik, Leipzig, rocznie 15 Mk., zawierające bibliografię i bardzo dobre referaty.

[1]) Przedstawioną w sposób łatwo zrozumiały, bez wywodów matematycznych w broszurce: J. J. Thomson, Elektricität und Materie, 100 str. Vieweg 1904), Mk. 3·60.

do sił magnetycznych wywieranych i co do sił ponderomotorycznych w danem polu doznanych — z prądem galwanicznym odpowiedniej wielkości. Dla teoryi elektronowej twierdzenie to nabiera znaczenia zasadniczego, ponieważ ona nie może uznawac dawnego pojęcia prądu: według niej to co nazywamy prądem galwanicznym, krążącym po przewodniku, niczem nie jest innem jak ruch postępowy takich elektronów we wnętrzu metalu. Przewodnictwo metali jest zatem zupełnie analogiczne do przewodnictwa elektrolitów, z tą tylko różnicą, że w metalach istnieją także pojedyńcze, od atomów oderwane elektrony, swobodnie się poruszające (zdissocyowane), podczas gdy one w elektrolitach przyczepione są do atomów lub grup atomowych i tylko wspólnie z niemi się poruszać mogą.

Już w roku 1878, a dokładniej w 1889 słynny fizyk amerykański Rowland sprawdził ową hipotezę Maxwella, pokazując że krążek naelektryzowany, wirujący koło swej osi, taki sam wywiera wpływ na igłę magnetyczną, jak prąd przepływający po obwodzie krążka, ale doświadczenia te nie zostały zupełnie powszechnie uznane, gdyż ilości elektryczności tym sposobem poruszane są bardzo małe w porównaniu z temi, które prąd galwaniczny średniego natężenia transportuje, a zatem też siła wywierana na igłę magnetyczną jest bardzo nieznaczna i trudno się wykazać daje. Kwestya zaostrzyła się, gdy francuz Crémieu w r. 1902 wykonując podobne doświadczenia z wielką przezornością, żadnego nie zdołał odkryć wpływu tego rodzaju, a zwłaszcza gdy amerykanin Pender (1903) znów otrzymał rezultat dodatni, a potem Crémieu znowu wynik przeczący. Dla rozstrzygnięcia sporu, ogarniającego coraz szersze koła uczonych a decydującego o losach nietylko teoryi elektronów ale i Maxwella, chwycono się sposobu oryginalnego, któryby za wzór służyć powinien w podobnych razach: za staraniem najpierwszych powag naukowych, Poincarégo ze strony Francyi, a Lorda Kelvina ze strony Anglii, zaproszono Crémieugo i Pendera do wspólnej pracy nad tym przedmiotem, stawiając im do dyspozycyi wszelkie potrzebne środki naukowe. W przeciągu kilku miesięcy praca stanowczo rozstrzygająca tę kwestyę została wykonana, a wynik jej był, że obaj badacze uznali zupełną słuszność przewidywań Maxwella. Ujemne rezultaty dawniej otrzymane przez Crémieugo pochodziły z pewnego szczegółu doświadczeń (pokrycie krążka wirującego lakie-

rem), którego doniosłości jako źródła błędów nie można było a priori przypuszczać.

Tak zatem wszelkie wątpliwości co do owego podstawowego prawa elektroniki zostały usunięte. Pewna niejasność jeszcze istnieje, oprócz w kwestyi elektronów dodatnich, co do wewnętrznej budowy elektronów, ale te kwestye dla większości zjawisk są zupełnie obojętne — co naturalnie też odwrotnie jest powodem, że nie możemy tak łatwo odczytać odpowiedzi na nie w zjawiskach natury. Powrócimy do tego jeszcze później.

Poznawszy wytyczne zasady tej teoryi, zastanówmy się nad jej doniosłością. Zauważymy przedewszystkiem, że równania pola elektromagnetycznego, wynikające z niej dla stanu statecznego albo nie zbyt szybko zmiennego, są identyczne z równaniami Maxwella (z pewnemi zmianami dla ciał poruszających się), że zatem ta teorya tak samo jak owa obejmuje całość „klasycznego" systemu elektromagnetyki i także fale Hertzowskie. Właściwem polem jednak, gdzie jej wyższość się okazała, są dziedziny rozmaitych zjawisk nowo zbadanych.

Jedna z nich jest to dziedzina zjawisk występujących przy rozbrojeniu elektryczności. Pioruny, iskry elektryczne, rozbrojenia w t. zw. rurkach Geisslerowskich należą z pewnością do zjawisk elektrycznych najczęściej obserwowanych i od samego początku najpilniej badanych, a mimo to były one dla nas do niedawna zupełnie niezrozumiałe i wszelkie próby wykrycia jakichś ścisłych prawidłowości rozbijały się o nadzwyczajną ich zawiłość i pozorną nieregularność. Dopiero pod wpływem nowej teoryi wszystko zaczęło się porządkować i wyjaśniać. Obecnie, zwłaszcza dzięki poszukiwaniom J. J. Thomsona i jego uczni[1]) chaos wyników niepowiązanych zamieniło się w systematyczną całość, ściśle związaną z kinetyczną teoryą gazów.

Wiemy teraz, że przewodzenie elektryczności w gazach odbywa się do pewnego stopnia podobnie jak w elektrolitach: wskutek ruchu ionów, popychanych przez siły pola elektrycznego, a wstrzymywanych przez zderzenia z drobinami otaczającemi.

---

[1]) Najgruntowniejsze dzieło: J. J. Thomson, Electricitäts-Durchgang in Gasen, 587 str. Teubner (1906) Mk. 18·—. Krótki pogląd n. p. w książce Starkego loc. cit. str. 352—409, lub artykuł Starka w Zeitschr. f. Radioaktiv. III (1906) p. 48—60. Bardzo dobre było dziełko: J. J. Thomson, Entladung d. Elektr. durch Gase, 144 str. (1900) Barth, Mk. 5·50, obecnie już trochę przestarzałe.

Różnica polega na tem że: 1) ionami mogą być w gazach rozrzedzonych pojedyńcze elektrony, przy wyższych ciśnieniach zaś atomy lub drobiny połączone z elektronem, a nawet grupy drobin gromadzące się koło elektronu; 2) średnia droga odbyta przez iony między kolejnemi zderzeniami z otaczającemi drobinami jest wielkością zmienną, zależną od gęstości gazu, i może w gazach rozrzedzonych osięgnąć wartości dość znaczne; 3) ionizacya gazów w stanie naturalnym jest niedostrzegalnie małą, ale istnieje mnóstwo rozmaitych czynników wywołujących sztuczną ionizacyę i wskutek tego przewodzenie elektryczności, jak promienie Röntgena, promienie katodowe i anodowe, procesy chemiczne i t. p. Przewodzenie elektryczności powodowane takiem zewnętrznem źródłem ionizacyi można nazwać „niesamodzielnem". Dzięki dokładnemu teoretycznemu opracowaniu zyskaliśmy w nim znakomity środek do badania owych czynników ionizujących, który n. p. wobec ciał promieniotwórczych niesłychane oddał usługi.

Pod pewnymi warunkami może wystąpić także „samodzielne" przewodzenie elektryczności; mianowicie jeżeli siła elektryczna jest dostatecznie wielką, wtedy iony podczas swej „drogi swobodnej" tak znaczną prędkość nabywają, że roztrzaskują drobiny z któremi się zderzają, i tym sposobem coraz nowe iony wytwarzają. Łatwo zrozumieć, że liczba ionów musi wtedy nadzwyczajnie szybko wzrastać i że elektryczność przepłynie z coraz większą łatwością i gwałtownością, dopóki napięcie elektryczne trwać będzie — to znaczy, że powstanie to co nazywamy iskrą elektryczną. Z tej teoryi można też wyprowadzić prawo empirycznie znalezione przez Paschen'a, według którego potencyał potrzebny do wytworzenia iskry jest tylko funkcyą z iloczynu długości iskry i ciśnienia gazu. Zbadawszy zatem zależność długości iskry od potencyału przy zwykłem ciśnieniu atmosferycznem można obliczyć w prosty sposób odpowiednie wartości dla jakiegobądź innego ciśnienia.

Wielką doniosłość dla rozwoju tej dziedziny nauki nabył fakt, obserwowany już niegdyś przez Helmholtza, że para wodna przy osiągnięciu pewnego stopnia przesycenia kondensuje się na ionach w gazie zawartych i w ten sposób wytwarza kropelki naładowane odpowiednim ładunkiem. Najdziwniejszem jest jednak to, że para wodna okazuje predylekcyę do ionów ujemnych,

i tylko w ostateczności, gdy przesycenie jest znaczne, także ionami dodatniemi się zadawala (Wilson).

Dla zjawisk elektryczności atmosferycznej i meteorologii są to fakty pierwszorzędnej wagi; to też zajęto się z zapałem badaniami nad nowym elementem meteorologicznym: ionizacyą atmosferyczną, nad związkiem jego z promieniowaniem słonecznem i z owymi drobnymi śladami substancyi promieniotwórczych, których obecność w atmosferze Elster i Geitel odkryli, — i śmiało można twierdzić, że oznacza to początek nowej ery dla meteorologii.

Dla fizyki zaś zbadanie owego faktu już obecnie obfite wydało owoce. Samo zjawisko, zdaje się, jest już dostatecznie wytłumaczone przez Thomsona, ale jeszcze ciekawszym jest użytek, który z niego zrobiono. Mianowicie iony same są oczywiście niewidzialne, ale jeżeli koło każdego z nich wytworzymy kropelkę przez kondensacyę pary, wtedy ruch tych kropelek możemy dokładnie śledzić i możemy zmierzyć, jaką one prędkość nabywają pod wpływem ciężkości lub znanych sił elektrycznych, a z tych danych obliczyć możemy wielkość owego ładunku elektrycznego, który kropelka zawiera, i który stanowi pierwotny nabój ionu. Tym sposobem J. J. Thomson, Townsend i Wilson otrzymali liczby zupełnie zgodne między sobą i z ową liczbą, którą poprzednio z całkiem odmiennych zjawisk wyprowadziliśmy, co oczywiście stanowi świetne potwierdzenie zasad tej teoryi.

Bezsprzecznie najciekawsze są jednak zjawiska występujące w gazach bardzo rozrzedzonych[1]). Wtedy iony dużo mają przestrzeni wolnej dla swego ruchu, więc pod wpływem siły elektrycznej zakreślają długie proste drogi swobodne i nabywają przy tem wielkiej prędkości: powstaje zjawisko, które określamy nazwą promieni. Są to zatem promienie w sensie teoryi emissyjnej Newtona, tylko z tą różnicą, że cząstki wyrzucane są naładowane elektrycznością. Skutek tego naboju ujawnia się w tem, że zewnętrzne poprzeczne siły elektryczne uginają je z drogi prostej w swym kierunku, a poprzeczne siły magnetyczne w kierunku prostopadłym (ponieważ magnes według omawianej przedtem zasady działa na taki promień jak na przewodnik prądu elektrycznego).

---

[1]) Polecenia godne dziełko (bez wywodów matematycznych): Schmidt, Kathodenstrahlen, 120 str. Vieweg 1904 Mk. 3 60.

Dodatnie cząstki[1]) tworzą t. zw. „Kanalstrahlen“ lub promienie anodowe, a ujemne elektrony tworzą owe promienie katodowe, których dziwne właściwości już od czasów Crookesa takiego nabyły rozgłosu. Obecnie wiemy, że promienie katodowe (wychodząc z bieguna ujemnego, katody, skąd nazwa) powstają nietylko w owych rurkach Crookesa, każdemu dobrze znanych, lecz że są one zjawiskiem bardzo powszechnem. Powstają one na powierzchni metali i rozmaitych innych ciał oświetlanych (zwłaszcza światłem pozafiołkowem) dając powód do t. zw. zjawisk fotoelektrycznych, powstają też (jako „promienie wtórne“, Sekundärstrahlen) przy pochłonięciu promieni Röntgena przez ośrodki absorbujące, jak metale lub gazy, a powstają także prawdopodobnie przy zjawiskach chemicznych jak n. p. w płomieniach; wydawane są również przez rozżarzone metale i inne ciała silnie ogrzane (zwłaszcza tlenek wapna), oraz przez substancye radyoaktywne, których według nowszych badań jest wiele więcej niż pierwotnie przypuszczano. Rzadko jednak promienie te są tak silne, że można wykazać ich istnienie bez przyrządów o wielkiej czułości.

Właściwości ich zależą w bardzo wysokim stopniu od prędkości, którą posiadają, a ta znow związaną jest ze sposobem ich powstania i ze stanem zewnętrznego pola elektrycznego. Promienie powolne, jak te które według Lenarda są wydawane przez metale oświetlone, t. j. posiadające prędkości rzędu $10^8 \frac{cm}{sec}$, podlegają już zboczeniu pod wpływem bardzo słabych sił magnetycznych lub elektrycznych, i nie są w stanie przejść przez warstwę powietrza grubości $\frac{1}{1000}$ mm; natomiast najszybsze dotychczas znane, promienie β wydawane przez rad, o prędkości $2{\cdot}3-2{\cdot}9 . 10^{10} \frac{cm}{sec}$, więc bliskiej prędkości światła, znacznie mniej podlegają zboczeniu w polu magnetycznem, a zwłaszcza elektrycznem, możnaby powiedzieć, są wiele sztywniejsze i przy tem przenikliwsze, gdyż przenikają warstwy kilkunastu centymetrów powietrza bez znacznego osłabienia. Analogia z kamieniem rzuconym z małą prędkością, zakreślającym drogę silnie skrzywioną

[1]) Masa ich, obliczona w podobny sposób jak dla promieni katodowych (zob. później) okazała się mniej więcej równą masie atomowej. Zdaje się zatem, że są to atomy, od których jeden czy kilka ujemnych elektronów się oddzieliło.

i z kulą, wystrzeloną z karabina, lecącą prawie drogą prostą, objaśnia te zjawiska bez długiego tłumaczenia.

Zrozumiemy też, dzięki tej analogii, do pewnego stopnia, jak na podstawie takich obserwacyi zboczenia promieni można odwrotnie obliczyć ich prędkość. Prosty rachunek dowodzi, że kombinując dane co do skrzywienia promienia w polu magnetycznem i w polu elektrycznem, można obliczyć z jednej strony prędkość elektronów poruszających się, a z drugiej strony stosunek masy mechanicznej takiego elektronu do jego naboju elektrycznego. Tym sposobem otrzymano liczby dla prędkości wyżej przytoczone. Wielkość ich, przekraczająca tak nadzwyczajnie wszelkie inne prędkości ciał materyalnych poruszających się początkowo spotykała się z pewnem niedowierzaniem, pomimo że także inne sposoby obliczenia (na podstawie energii zużytej do wytworzenia promieni, lub ciepła wytworzonego przez promienie i ilości elektryczności transportowanej) te same dawały rezultaty.

Wszelkie wątpliwości zostały jednak usunięte, gdy się udało uczonym niemieckim Des Coudres i Wiechert wykonać bezpośredni pomiar prędkości promieni katodowych. Metoda ich, nadzwyczaj pomysłowa, przypomina w zasadzie metodę zastosowaną przez Fizeau do mierzenia prędkości światła, ale różni się w tem, że używa się tu szybko przemiennych prądów, odchylających magnetycznie owe promienie, na miejscu koła zębatego, którem Fizeau się posługiwał do peryodycznego przerywania promieni świetlnych. Potwierdzenie liczb przedtem obliczonych, które te bezpośrednie pomiary umożliwiły, jest nowym dowodem dla słuszności naszych zapatrywań co do natury elektronów.

Ale jeszcze donioślejsze okazało się obliczenie owego stosunku $\frac{m}{e}$, masy elektronów do ich naboju elektrycznego, ponieważ znając wielkość tego naboju (patrz str. 6) można z niego także obrachować masę elektronów. Pierwszy J. J. Thomson tym sposobem zdołał oznaczyć tę wielkość; pokazuje się, że masa ta wynosi $0{\cdot}6.10^{-27}$ gramu t. j. mniej więcej $\frac{1}{2000}$ część atomu wodoru — a co najciekawsze: że liczba ta jest niezależna od natury gazu i od natury elektrody, z której wychodzą promienie katodowe. To uważał za dowód, że atomy wszystkich ciał są zbudowane z takich samych elektronów i że różnice we właściowościach

pierwiastków chemicznych tylko polegają na różnicach w liczbie i w rodzaju ułożenia tych cegiełek. To są więc owe praatomy, o których niegdyś marzyli niektórzy chemicy (Prout i inni).

A jeżeli te cegiełki są wszystkie jednakowe, czemużby atomy jednego rodzaju nie miały się dać przemienić w atomy innego rodzaju? Kilkanaście lat temu byłoby się takie przypuszczenie uważało za dziecinną utopię — a obecnie wiemy, że istotnie w naturze takie przemiany się odbywają! A na przyszłość będziemy o tyle ostrożni, ażeby słowa „niemożliwość“ nigdy we fizyce nie używać.

Do tych wyników później jeszcze powrócimy, obecnie zaś rozpatrzmy konkluzye innego rodzaju, z tych badań wynikające. W klasycznych teoryach fizyki zwykle ujawniała się tendencya do wytłómaczenia sobie zjawisk elektrycznych sposobem mechanicznym, jako objawów wewnętrznej mechanicznej struktury eteru — Maxwell nawet wymyślił odpowiedni model eteru — ale zaniechano później tych usiłowań, gdyż mechanizm, który trzeba było przypuścić, był zbyt skomplikowanym, tak że nie ułatwiał poglądu[1]). Później niekiedy podnoszono nieśmiało myśl, czyby się nie dało odwrotnie mechanikę sprowadzić na elektryczność.

Tu się nadażyła ku temu sposobność: gdyby się nam udało wytłumaczyć bezwładność elektronów jako objaw sił elektrycznych, to znaczyłoby to, że pojęcie masy elektronu, a zatem masy materyalnej wogóle, zredukowaliśmy na pojęcia z dziedziny elektryczności. Takie tłumaczenie zaś istotnie jest możliwem. Już w roku 1879 bowiem J. J. Thomson dowiódł z równań Maxwella, że kula naelektryzowana musi przy swym ruchu okazywać takie właściwości, jak gdyby posiadała pewną bezwładność. Jest to objaw energii potencyalnej, która z wytworzeniem pola magnetycznego dokoła naboju poruszanego (jakoby prądu galwanicznego) jest połączona. Wszak powszechnie znanem jest to zjawisko bezwładności prądu w przewodnikach metalowych pod nazwą Extrastrom, czyli prądu powstającego wskutek samo-indukcyi, gdy siłę elektromotoryczną załączamy lub wyłączamy; ale tam trwa ono tylko bardzo krótki czas, ponieważ elektrony w metalu doznają tarcia pochłaniającego ich energię kinetyczną i zamieniającego ją

---

[1]) Zestawienie badań w tym kierunku: Witte: Über d. gegenw. Stand d. Frage nach e. mechan. Erklärung d. elektr. Erscheinungen, Berlin, Ebering (1906) 232 str. Mk. 7·50.

w ciepło Joule'a. Masa elektronu byłaby zatem nie materyalną, pozorną — byłaby tylko objawem sił elektromagnetycznych, powstających dzięki naładowaniu elektrycznością.

Trzebaby tę hipotezę uznać za możliwą, ale nie sprawdzalną, gdyby ścisłe obliczenia z niej nie wyprowadziły dalszej konsekwencyi, że elektron tylko dla stosunkowo powolnych ruchów posiadałby określoną, niezmienną masę, zgodnie z pojęciem masy mechanicznej Newtonowskiej; przy ruchach zbliżających się do prędkości światła zaś musiałaby jego bezwładność się powiększyć, wskutek deformacyi linij sił elektrycznych, wywołanej tak szybkim ruchem. Tu jest sposobność do experimentum crucis, rozstrzygającego za lub przeciw tej teoryi.

Kauffman wykonał je, powtarzając (1901) z największą dokładnością pomiary prędkości i masy elektronów dla promieni β wydawanych przez rad, które są znacznie szybsze niż te których używał Thomson, i znalazł istotnie znaczne powiększenie masy przy wielkich prędkościach, jak następujące liczby wskazują:

prędkość	mała	2·2	2·4	2·7	2·9	$10^{10} \frac{cm}{sec}$
masa	1	1·34	1·47	2·05	2·42	

Wyrok wypadł zatem przeciwko tradycyjnej mechanice, a za tłumaczeniem elektrycznem bezwładności. Prawa mechaniki Newtonowskiej są zatem tylko przybliżenie ważne — z ograniczeniem do niezbyt wielkich prędkości. Dla ciał poruszających się szybciej niż 100.000 kilometrów na sekundę masa jest zmienną, nawet różną dla sił działajacych w kierunku ruchu a w kierunku poprzecznym; a równocześnie prawo równoległoboku sił przestaje być ważnem.

Czy porzucimy zatem dotychczasową mechanikę, która przez 250 lat dyktowała prawa całej fizyce i którą uważaliśmy za jej najpewniejszą podstawę? Bynajmniej nie! Będziemy się trzymać mechaniki Newtona jak dotychczas, dla wszystkich ruchów „powolnych“ (t. j. o prędkościach mniejszych od kilkudziesięciu tysięcy kilometrów na sekundę), ale będziemy uważać pojęcia mechaniczne za symbole skracające, których używamy, ażeby nie potrzeba się zapuszczać w zawiłe obliczenia elektromagnetyczne, i będziemy pamiętać, że nie wolno używać tych pojęć upraszczających w ten sam sposób, gdy chodzi o ruchy „szybkie“.

Owa zmienność masy elektronów przy bardzo szybkim ruchu jest też pod innym względem nadzwyczajnie ważna, gdyż ona według teoryi od tego zależeć musi, czy elektrony mają kształ niezmienny, kulisty, jak suponuje Abraham, czy też przybierają kształt elipsoidy przy tak szybkim ruchu, co przyjmują Lorentz, Bucherer i inni. Jest to jedno z owych zjawisk wspomnianych na str. 51, gdzie także kształt elektronu pewną odgrywa rolę, i z których zatem też odwrotnie o zmianach tego kształtu możnaby się dowiedzieć. Innym przypadkiem tego rodzają są pewne doświadczenia optyczne, zapomocą których Michelson daremnie usiłował dowieść ruchu ziemi względem nieruchomego eteru wszechświata. Mimo starannych pomiarów Kauffmana nad pierwszym punktem i mimo głębokich badań różnych uczonych nad drugim przedmiotem nie można jeszcze kwestyi tej uważać za rozstrzygniętą, gdyż dokładność dotychczasowych danych doświadczalnych do tego nie wystarczy, więc też nie będziemy się zagłębiać w odnośne spekulacye Lorentza. Przypuszczenie jego, że na mocy dokładnych pomiarów optycznych ruch ziemi względem eteru mógłby być wykrytym, dziwnem się wydaje, ale nie możemy tej możliwości a priori odrzucić, tak samo jak nie możemy a priori rozstrzygnąć, czy dla sił działających między eterem a elektronami istnieje prawo działania i oddziałania czy nie.

Zaznaczyć należy jednak jeszcze pewien ciekawy wynik tego „elektrycznego wytłumaczenia" masy mechanicznej. Pozorna masa elektronu musi bowiem zależeć od gęstości elektryczności wypełniającej elektron, a zatem także od jego rozmiarów; a z tego obliczono zapomocą ścisłego rachunku, że średnica elektronu jest wielkością rzędu 10^{-13} *cm* t. j. kilkaset tysięcy razy mniejszą od średnic drobinowych.

Ponieważ zatem elektrony tylko nadzwyczajnie drobną część przestrzeni w ciałach stałych rzeczywiście zajmują, można też zrozumieć „przeźroczystość" ciał dla takich nadzwyczajnie drobnych a szybkich pocisków, jakiemi są promienie β.

Wyniki w ostatniej części omawiane są pouczającym przykładem, do jak doniosłych konsekwencyi może doprowadzić wyczerpujące zbadanie jakiegoś zjawiska, nawet na pozór izolowanego i nie obiecującego ogólniejszych rezultatów.

O nadzwyczajnie ciekawych i ważnych badaniach mających na celu wytłumaczenie magnetyzmu, termoelektryczności, a na-

wet także grawitacyi powszechnej, na podstawie pojęć elektronowych, tylko nawiasem wspomniemy, gdyż tutaj budowa teoryi jeszcze nie jest wykończona, ale nieco obszerniej poruszyć trzeba zjawisko występujące zawsze w połączeniu z promieniami katodowymi, które wśród szerokiej publiczności znacznie większego od nich nabyło rozgłosu, choć dotychczas dla nauki mniej owocnem się okazało: promienie Röntgena[1]).

Obecnie przynajmniej kwestya sporna co do istoty tych promieni jest stanowszo rozstrzygnięta. Są to nagłe i nader krótko trwające zaburzenia elektromagnetyczne eteru, które powstają kiedykolwiek elektrony doznają nagłej zmiany w swym ruchu, a zwłaszcza wyraźnie występują, gdy promień katodowy wpada na powierzchnię płyty z metalu ciężkiego (jak platyna, ołów). Używając porównania z dziedziny akustyki, można je zestawić z szelestem występującym gdy grad uderza o twardą ziemię; różnią się one od fal świetlnych podobnie jak ten szelest się różni od dźwięków muzykalnych: tem, że tworzą tylko chwilowe wzburzenia elektromagnetyczne, a nie szereg regularnych peryodycznych falowań.

Zapatrywania te zostały wypowiedziane przez Stokesa zaraz po odkryciu tych promieni, podczas gdy inni początkowo w nich upatrywali fale podłużne eteru i t. p., ale obecnie mamy na nie ścisłe dowody. Marx zdołał zmierzyć prędkość promieni Röntgena (1906); doświadczenia jego, które tak jak pomiary analogiczne promieni katodowych (patrz str. 13) są arcydziełem nowoczesnej fizyki eksperymentalnej, dały liczbę 300.000 km., identyczną z prędkością światła. Barkla odkrył u tych promieni pewne zjawiska polaryzacyi, co wspólnie z owym rezultatem dowodzi, że mamy tu rzeczywiście do czynienia z (poprzecznemi) zaburzeniami elektromagnetycznemi eteru, pokrewnemi ze światłem. Holendrzy Haga i Wind zaś dowiedli u nich śladów uginania, przy przejściu przez wązką szparę, wyciętą w ekranie platynowym, z których wnioskowali, że t. zw. szerokość impulsu (t. j. grubość warstwy zaburzonej (eteru) wynosi mniej więcej $\frac{1}{1000}$ długości fal świetlnych!

To też tłumaczy zupełnie, czemu one nie doznają ani odbicia ani załamania regularnego, gdyż odstępy między drobinami ciał

[1]) Oprócz obszernego dzieła Thomsona, loc. cit. str. 9: Donath, D. Einrichtungen z. Erzeugung v. Rönt. Strahlen, Berlin (1903) 2 Aufl., 244 str. Mk. 7·—

napotykanych po drodze większe są od owej szerokości impulsu, więc ciała materyalne dla tak drobnych zaburzeń nie przedstawiają cech ośrodka jednolitego, lecz zachowują się jak zbiorowiska z drobnych ziarn. Obszernego pola dla badań dostarczają jeszcze różnice między rozmaitymi promieniami Röntgena, „miękkimi“ t. j. stosunkowo mało przenikliwymi, jakie wytwarzane są przez powolne promienie katodowe i „twardymi“, pochodzącymi od szybkich promieni katodowych i obdarzonymi wielką zdolnością przenikania.

II.

Ściśle biorąc, przedmiot tu właśnie omawiany należy już zaliczyć nie do elektryczności lecz do optyki w szerszem znaczeniu słowa, czyli nauki o promieniowaniu. Ale w ostatnich czasach dziedziny te tak się zrosły i zlały ze sobą, że ścisłe ich odgraniczenie jest zupełnie niemożliwe.

Dawniejsza, historyczna optyka zapatrywała się na promień światła jako coś danego i tylko badała zmiany zachodzące podczas jego przebiegu. Znacznie później dopiero zajęto się związkiem między istotą źródła światła a rodzajem promieni przezeń wysyłanych: doczepiono do optyki nową dziedzinę: analizy widmowej, z którą się z czasem także połączyła nauka o promieniowaniu cieplnem, ponieważ poznano, że promienie świetlne stanowią tylko rodzaj promieni cieplnych. W tych nowszych działach nagromadzono z czasem nadzwyczaj rozległy, choć bardzo chaotyczny materyał doświadczalny, ale oprócz fundamentalnego prawa Kirchhoffa o stosunku emisyi do absorpcyi, otrzymanego zapomocą rozważań termodynamicznych, i oprócz pewnych bardzo niedostatecznych wskazówek co do związku dyspersyi anormalnej z absorpcyą, nie zdołano zdobyć ogólniejszych wyników, dopóki panowała mechaniczna undulacyjna teorya światła.

Dopiero gdy pod naciskiem doświadczeń Hertza porzucono tamtę, a przyjęto elektromagnetyczną teoryę światła, otworzyła się droga do postępu. W obecnej chwili trudno będzie znaleźć między uczonymi choć jednego zwolennika starej teoryi. Odłożono ją ad acta jako nieużyteczny przeżytek — któremu tylko jeszcze kwitnąć pozwalają w niektórych naszych podręcznikach szkolnych.

Różnica pod pewnym względem jest niewielka, zamiast pojęcia poprzecznych drgań eteru, analogicznych do drgań ciał sprężystych, podstawiono wszędzie pojęcie poprzecznych, peryodycznie

zmiennych sił elektrycznych, i z tą małą zmianą słów przyjęto prawie wszystkie teorye klasycznej optyki. Ale doniosłość tej zmiany dla rozwoju optyki polega na tem, że zamiast uciekać się do przypuszczenia jakichś dziwacznych właściwości sprężystych eteru, możemy wszystko wytłumaczyć za pomocą jego dokładnie znanych właściwości elektrycznych i że zamiast robić hipotezy co do zagadkowego sposobu jak ciała materyalne wpływają na sprężyste właściwości eteru, możemy przewidzieć na podstawie naszych wiadomości o strukturze atomów, jak one na fale elektryczne będą oddziaływały, i jak swoimi ruchami wewnętrznymi takie fale będą wzbudzały.

Optyka dzieli się z tego punktu widzenia na dwa działy. Aż do pewnego punktu można się równie dobrze posługiwać dawną, mechaniczną jak też nową, elektromagnetyczną teoryą, albo najlepiej hipotezą najogólniejszą, że światło polega na zjawisku peryodycznem pewnego rodzaju, bez bliższego roztrząsania istoty tego zjawiska[1]). Jest to ów dział optyki, w którym głównie się obracała optyka klasyczna, który po niej w niezmienionej formie odziedziczyliśmy i zapewne też niezmieniony przekażemy naszym potomkom.

Nie można jednak twierdzić, żeby na tem polu nie było postępu. Przeciwnie, t. zw. optyka geometryczna, czyli teorya instrumentów optycznych, zwłaszcza dzięki badaniom Abbe'go nadzwyczajnie się wykształciła, a w ślad za nią poszło wydoskonalenie instrumentów optycznych, mikroskopów, objektywów fotograficznych i t. p., jakie związane jest zwłaszcza z imieniem firmy Zeiss. Na polu mikroskopiki nawet nastąpiło niespodziewane odkrycie, że przy nadzwyczajnie silnem oświetleniu można widzieć (choć niewyraźnie) cząstki jeszcze wiele mniejsze niż 0·0002 mm., co Helmholtz uważał za granicę nieprzekraczalną, podyktowaną przez prawa uginania światła, i Siedentopf i Zsigmondy zdołali nawet tym sposobem w swym „ultramikroskopie" wysunąć granice widzialności do rozmiarów 0·000005 mm.

---

[1]) Przeważnie z tego punktu widzenia optyka traktowana jest w świetnie napisanem elementarnem dziełku Witkowskiego, które wyszło jako drugi zeszyt tomu drugiego „Zasad Fizyki". Warszawa (1904) 1 rb. 35 kop. Jako podręcznik wyższej optyki teoretycznej, odpowiadający obecnemu stanowi nauki, polecić musimy gorąco: Drude, Lehrbuch d. Optik 2. Aufl. (1906) Leipzig Mk. 13·—.

Ale wszystkie te wydoskonalenia, jakkolwiek dla praktyki ważne, mają raczej charakter uzupełniający pewne luki systemu z przeszłości przekazanego, i nie mogą być porównane co do swej doniosłości naukowej z powstaniem zupełnie nowych części optyki, które zawdzięczamy teoryi elektromagnetycznej — i to jest ten drugi dział, który dla teoryi mechanicznej był niedostępny i którym obecnie się zajmiemy: właściwa teorya promieniowania. W nim znów możnaby dwie części rozróżnić: ogólne prawa promieniowania, w których wystarczy przyjęcie ogólnych zasad teoryi Maxwella, i takie zjawiska, które wymagają wprowadzenia pojęć elektronowych, w celu wytłumaczenia specyalnych właściwości rozmaitych substancyi.

Przytoczę najprzód najważniejsze fakty pierwszego rodzaju.

Z teoryi elektromagnetycznej wynika, że światło padające na powierzchnię ciała wywierać musi nań pewne ciśnienie; istotnie Moskal Lebediew i Amerykanie Nichols i Hull zdołali wykazać jego istnienie zapomocą nadzwyczajnie delikatnych doświadczeń i sprawdzić jego wielkość teoretycznie obliczoną[1]).

Na podstawie praw tego ciśnienia i ogólnych zasad termodynamiki, Boltzmann podał dowód ścisłości t. zw. prawa Stefana, twierdzącego że: całkowite promieniowanie ciała czarnego rośnie proporcyonalnie do czwartej potęgi jego temperatury bezwzględnej, i tak kwestya podniesiona już w r. 1818 przez Dulonga i Petita została ostatecznie załatwiona.

Pozostawało jeszcze do zbadania, w jakiej proporcyi promienie o różnych długościach fali składają się na wydanie owego promieniowania całkowitego, innemi słowami, jaki jest kształt funkcyi, określającej rozkład promieniowania, przy każdej danej temperaturze. Także tę kwestyę, dzięki głębokim badaniom teoretycznym Wiena i Plancka z jednej strony, a stwierdzającym je pracom doświadczalnym Paschena, Lummera i Pringsheima z drugiej strony, można obecnie uważać za zupełnie wyjaśnioną; wynik streszcza się we wzorze Plancka[2]), według którego natężenie promieni o długości λ, we widmie pochodzącem od ciała czarnego

---

[1]) Ciśnienie wykonane na 1 m^2 przez promienie słońca prostopadle wpadające równa się ciężarowi $\frac{1}{2}$ *mg*. Sprawozdania z prac doświadczalnych i teoretycznych nad tym przedmiotem w Jahrb. d. Radioactiv. u. El. II. (1905) p. 267—313.

[2]) Czytelnikom, których wywody matematyczne nie odstraszają, gorąco polecamy: Planck, Vorles. ü. Wärmestrahlg., Barth (1906) 222 str. Mk. 7·80.

temperatury T, określone jest formułką, zawierającą dwa spółczynniki stałe C, α:

$$\sigma(\lambda, T) = \frac{C}{\lambda^5\left(e^{\frac{\alpha}{\lambda T}} - 1\right)}$$

Na mocy prawa Kirchhoffa możnaby zatem przewidzieć zjawiska emisyi dla jakichbądź substancyi, o ile znaneby były ich prawa absorpcyi — i te stanowią ów drugi dział problemów, gdzie wprowadzenie pojęć elektronowych okazuje się koniecznem. Według zasad teoryi elektromagnetycznej składają się na absorpcyę głównie dwie przyczyny: pierwszą jest przemiana energii drgań elektrycznych w ciepło Joule'a, jeżeli promienie padają na ciała dobrze przewodzące, jak n. p. metale [posiadające elektrony „swobodne"], co przyczynia się u nich do wybitnej ich zdolności refleksyjnej i nieprzeźroczystości. Znaną rzeczą było już dawniej, że najlepszy przewodnik, srebro, służy do wyrobu najlepszych zwierciadeł. Wzór teoretyczny dla związku tych właściwości z przewodnictwem, który pochodzi jeszcze od Maxwella, został stwierdzony przez doświadczenia Rubensa i Hagena z taką dokładnością, że możnaby odwrotnie nawet używać takiej metody optycznej do oznaczenia przewodnictwa elektrycznego.

Zgodność ta stosuje się jednak tylko do promieni pozaczerwonych, gdyż u właściwych promieni świetlnych drugi z wyżej wspomnianych czynników, powodujących absorpcyę, wywołuje pewne komplikacye. Czynnik ten, który w niemetalach wogóle dominującą odgrywa rolę, polega na tem, że elektrony ciała prześwietlanego, do ruchu drgającego pobudzone, promieniują energię na zewnątrz, podobnie jak struna udziela energię swą powietrzu otaczającemu. To porównanie akustyczne też tłumaczy, na mocy ogólnej zasady resonancyi, czemu (według teoryi szczegółowo rozwiniętej przez Drudego i Plancka) absorpcya właśnie dla takich fal świetlnych najsilniej występuje, jakie odpowiadają częstości własnych swobodnych drgań elektronów owej substancyi. Wzory teoretyczne, zdające sprawę z empirycznie poznanego związku absorpcyi z dyspersyą anormalną, obejmują wzory dla dyspersyi dawniej już wywiedzione przez różnych uczonych (Cauchy, Briot, Helmholtz, Ketteler) jako specyalne przypadki, a zwłaszcza zostały wyraźnie sprawdzone przez pomiary Rubensa i Aschkinassa

nad promieniami cieplnymi o największej dotychczas znanej długości fali (λ=0·06 mm).

Ta droga rozumowania naprowadza nas na pytanie, jaki istnieje związek między naturą chemiczną substancyi a drganiami jej elektronów (czyli jej właściwościami absorpcyjnemi i emisyjnemi), to jest na starodawną kwestyę analizy spektralnej. Olbrzymi materyał na tem polu od czasów Kirchhoffa nagromadzony znajdował się do niedawna w stanie zupełnie chaotycznym. Nową drogę otworzyły tu dopiero badania Balmera nad widmem wodoru (1885); wykazał on mianowicie, że długości fal czterech znanych jego linij widmowych, ułożone w regularny szereg, objąć się dają prostym wzorem matematycznym, i na podstawie tego wzoru przepowiedział pozycye dalszych linij wodorowych, z których istotnie do dziśdnia nie mniej niż 31 stwierdzono w części pozafiołkowej widma. Rydberg, Kayser i Runge badania te dalej poprowadzili u innych pierwiastków i w ich widmach również wykryli podobne regularności, tak że obecnie rozłożyć potrafimy widma całego szeregu pierwiastków (*H, Li, Na, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Sr* i t. d), każde w kilka takich seryi, określonych stosunkowo prostymi wzorami matematycznymi.

Zadanie tu dokonane da się porównać z rozwiązaniem kwestyi, którą Kepler sobie stawił wobec ruchu planet: drogą czysto empirycznie induktywną odnaleziono prawidłowość w chaosie danym przez obserwacyę bezpośrednią i ujęto cały ten obszar zjawisk w karby wzorów matematycznych. Pozostaje obecnie problem do rozwiązania, analogiczny do dzieła Newtona, problem: jaki jest układ elektronów wewnątrz atomu promieniującego, i jakie są siły utrzymujące je w tym układzie, innemi słowami, jaka jest struktura tej budowy elektronowej, którą nazywamy atomem.

Nadzwyczajnie ciekawą, a dotychczas jedyną próbę rozwiązania tego fundamentalnego problemu całej fizyki i chemii, tworzy wspomniana (na str. 7) hipoteza J. J. Thomsona o budowie atomów, która istotnie oprócz różnych innych zjawisk także prawidłowości seryi widmowych tłumaczy. Przedwczesną byłoby jednak rzeczą obecnie o niej sąd wydawać; dużo przedtem będzie trzeba wykonać odnośnych badań teoretycznych i doświadczalnych, gdyż jeszcze cały szereg rozmaitych zjawisk się wiąże z tym przed-

miotem. Z pomiędzy nich poruszymy na tem miejscu tylko jeszcze wspomniane przedtem (str. 6) zjawisko Zeemanna[1]).

Jeżeli istotnie fale elektryczne, stanowiące to co nazywamy promieniowaniem, powstają wskutek drgań elektronów, w takim razie można oczekiwać, że obecność pola magnetycznego musi wpłynąć na promieniowanie cieplno-świetlne, ponieważ będzie modyfikować ruchy drgające elektronów, tak jak zmienia też ich ruchy postępowe (uginanie magnetyczne promieni katodowych).

Istotnie po rozmaitych nieudałych próbach Zeemann zdołał wykazać taki wpływ, mianowicie że we widmie wydawanem przez płomień sodowy owe dwie linie żółte, które odpowiadają czarnej linii *D* we widmie słonecznem, się rozpadają, każda znowu na dwie linie bardzo bliskie, jeżeli takie pole magnetyczne dokoła płomienia utworzymy, żeby promienie światła wychodziły w kierunku siły magnetycznej; a każda rozpada się na trzy linie, jeżeli siła magnetyczna jest prostopadła do kierunku promieni.

Rodzaj tego rozszczepienia i zjawiska polaryzacyi w nim występujące, zupełnie się zgadzają z przewidywaniem teoretycznem, tak dalece że z wielkości rozszczepienia obliczyć można stosunek masy elektronów do ich ładunku elektrycznego, a liczba tak otrzymana okazuje się identyczną z owemi, które otrzymano na podstawie zupełnie odmiennych zjawisk (por. str. 13).

Zgodność ta tworzy jedno z głównych wiązadeł łączących różne dziedziny teoryi elektronowej.

Zjawisko to zostało tym sposobem zupełnie wyjaśnione z punktu widzenia tej teoryi, ale we widmach innych pierwiastków występują także zmiany innego rodzaju, więcej skomplikowanej natury, gdyż niektóre linie rozpadają się na większą liczbę składowych i t. p., i tu pozostaje jeszcze obszerne pole, zarówno do obserwacyi jak i do wytłumaczenia teoretycznego.

Należałoby tu jeszcze poruszyć cały szereg rozmaitych kwestyi, jak związek tych zjawisk z teoryą magnetyzmu, z magnetycznym skrętem płaszczyzny polaryzacyi, odkrytym przez Faradaya, z analogicznem zjawiskiem Kerr'a, występującem przy odbiciu światła od magnesów, z ciekawem zjawiskiem elektromagnetycznem, odkrytem przez Hall'a, ale może już powyższy pobieżny szkic wystarczy do określenia kierunku, w którym obe-

---

[1]) Patrz n. p. Lorentz-Tołłoczko cyt. str. 29; Drude cyt. str. 19; Cotton Le phénomène de Zeeman, Paris (1900) fr. 2·—.

cnie optyka się rozwija, a z drugiej strony do scharakteryzowania doniosłości, jaką nabyła teorya elektronów, jako spójnia łącząca najrozmaitsze działy fizyki w jedną systematyczną całość i jako przewodniczka w coraz to nowych odkryciach.

III.

W obec rozwoju tych działów nauki, elektryczności i z nią związanej optyki, mniej wybitnymi wydają się postępy dokonane w ostatnich latach na polu mechaniki i termiki.

Mechanika dzisiejsza[1]) polega na tych samych prawach, które Newton jako podstawowe wygłosił i których później Bernoulli, D'Alembert, Euler, Lagrange, Hamilton, Jacobi do rozwiązywania najrozmaitszych problematów używali, nadając im równocześnie formy (znane pod nazwą różnych „zasad" mechaniki), które w danym razie były dogodniejsze lub ogólnością i elegancyą wybitniejsze. Dzisiaj wprawdzie teorya elektronów zdołała prawa te do zjawisk elektromagnetycznych zredukować, a co do zupełnej ich ścisłości wzbudziła poważne wątpliwości, i tak dokonała pewnego rodzaju wewnętrznej rewolucyi w tej dziedzinie, ale mimo to przecież nikomu na myśl nie przyjdzie porzucić tę dawną mechanikę, gdyż uznać ją musimy za najprostszą a we wszystkich zwykłych przypadkach zupełnie wystarczająco dokładną teoryę ruchu ciał.

Nowsi autorowie ograniczają się na wykończeniu szczegółów, na opracowaniu specyalnych zastosowań, zwłaszcza tych, które dla astronomii lub geofizyki mają większe znaczenie (problem trzech ciał, teorya krążka wirującego i t. p.[2]) lub na krytycznych badaniach co do logicznej ścisłości różnych sposobów uzasadnienia mechaniki (Mach, Hertz, Boltzmann[3]).

---

[1]) Zajmujący wykład o rozwoju mechaniki: Duhem, Ewolucya mechaniki, Warszawa (1904) 223 str. rs. 1 kop. 50.

[2]) Gorąco polecamy bardzo zajmujące, przystępnie pisane dziełka: Perry, Drehkreisel, Teubner (1904) 125 stron, Mk. 2·80; Darwin, Ebbe und Flut, Teubner (1902) 344 stron, Mk. 6·80.

[3]) Dziełem o fundamentalnem znaczeniu, a zrozumiałem nawet dla niefachowców jest: Mach, Die Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch kritisch dargestellt, Leipzig (1901) 550 str. Mk. 9·—; dzieła Boltzmanna (Barth, 1904) a zwłaszcza Hertza (Barth, 1894) są obliczone dla specyalistów i dlatego trudniej zrozumiałe.

Także w hydrodynamice usiłowania autorów nowoczesnych nie są skierowane ku szukaniu nowych zasad fizycznych, bo co do teoretycznej podstawy hydrodynamiki nie mamy żadnych wątpliwości. Postęp dokonuje się tutaj drogą mrówczej pracy: przez rozwiązywanie rozmaitych problemów specyalnych, na mocy równań zasadniczych, w miarę jak na to pozwalają stopniowo doskonalące się metody matematyki.

W jeszcze znacznie wyższym stopniu akustyka tworzy całość mniej więcej wykończoną, w której nie ma już miejsca na epokowe odkrycia, a to samo stosuje się po części wogóle do teoryi sprężystości, przynajmniej o ile ona polega na przyjęciu prawa Hooka o proporcyonalności odkształcenia do natężenia. Wprawdzie wiadomo także oddawna, że prawo to jest tylko przybliżenie ważne, a zwłaszcza że zjawiska opóźnienia sprężystości, tarcia wewnętrznego, powodują znaczne komplikacye, słowem że właściwości sprężystych ciał rzeczywistych znacznie się różnią od tych jakie prawo Hook'a im przypisuje, ale badanie tych właściwości postępuje bardzo powoli.

Jest to przedmiot tak pod względem teoretycznym jak i doświadczalnym nadzwyczajnie trudny i zawiły, zwłaszcza że nie można się wcale spodziewać jakichś prostych rezultatów dla zwykłych materyałów stałych, o strukturze nieokreślonej, drobnokrystalicznej, i właściwie trzebaby badania rozpocząć od sprężystości kryształów. Technicy, którzy z temi kwestyami wciąż się stykają, w tak ograniczonym zakresie i przy użyciu tak źle określonych materyałów eksperymentują, że wyniki ich badań zwykle nie posiadają wartości naukowej.

Jaskrawo ilustruje to fakt, że kwestya zdawałoby się zasadniczego znaczenia dla techniki, mianowicie od jakich warunków mechanicznych zależy złamanie ciała odkształconego, dotychczas zadowalającego opracowania nie znalazła[1]). Fizycy zaś z nielicznymi wyjątkami (Voigt) przestali się zajmować temi mozolnemi i niewdzięcznemi badaniami, wobec tego że otworzyły się inne

---

[1]) Voigt i Januszkiewicz wykonali doświadczenia nad złamaniem kryształów soli kamiennej i kawałów parafiny, z których Voigt wnioskował, że złamanie nie zależy od wielkości napięcia maksymalnego, jak technicy zwykle przyjmują, lecz od różnicy największego i najmniejszego napięcia w danym punkcie. Nie wiadomo jednak jeszcze o ile ten wynik ma znaczenie prawa ogólnego. (Wiedem. Annalen 53 p. 43 (1894), 67. p. 452 (1899).

wdzięczniejsze pola pracy. Tutaj więc pozostają jeszcze wielkie zadania do rozwiązania w przyszłości.

Na tem miejscu wspomnieć należy o pewnym postępie w metodyce mechaniki, t. j. o prawie ogólnem przyjęciu rachunku wektorowego jako środka pomocniczego przy traktowaniu tych działów fizyki, w których występują wielkości kierunkowe (jak: prędkość, siła, przyspieszenie, w przeciwstawieniu do gęstości, energii, temperatury, i t. p.). Rachunek ten, zastępujący niezręczne narzędzie geometryi analitycznej przestrzennej, i ułatwiający znakomicie zrozumienie działań matematycznych zwykle we fizyce stosowanych, wprawdzie nietylko w mechanice okazuje się użytecznym, lecz równie wielkie, albo może jeszcze większe usługi oddaje w teoryi elektryczności, ale mechanika jako umiejętność, od której w normalnym toku nauki rozpoczyna się poznawanie wielkości kierunkowych, najlepiej niewątpliwie nadaje się do wprowadzenia tego rachunku w użycie.

Używa jego n. p. Föppl w swym doskonałym podręczniku: Lehrbuch d. technischen Mechanik[1]), tak samo Föppl i Abraham, Bucherer, Planck, Lorentz i inni w swych dziełach wyżej wspomnianych. Dowodem, jak dalece użycie tego rachunku, zawartego w zarodkach już w dziełach Grassmanna i Hamiltona, a w obecną formę ujętego przez Heaviside'a, w ostatnich latach się rozpowszechniło, jest ilość odpowiednich podręczników, które w ostatnich latach zostały wydane; ale zapotrzebowanie niewątpliwie jeszcze będzie dalej wzrastać, gdyż rachunek ten będzie coraz więcej wypierać dawną geometryę analityczną, a zapewne także z czasem przejdzie do nauki w szkołach średnich[2]).

IV.

Przejdziemy do trzeciego wielkiego działu fizyki, do nauki o cieple. Na tem polu niewątpliwie panuje czynność znacznie

---

[1]) Teubner, w czterech tomikach: I.) Einführung i. d. Mechanik Mk. 10·—. II.) Graphische Statik Mk. 10.—. III.) Festigkeitslehre Mk. 10·—. IV.) Dynamik Mk. 12·—. Pierwszy i czwarty tom tworzą bardzo przystępnie i zajmująco pisany zarys mechaniki analitycznej, trzeci tom daje zarys teoryi sprężystości, drugi tom zawiera metody graficzne, w technice stosowane.

[2]) Gans, Einführung in d. Vectoranalysis mit Anwendungen auf Physik, Teubner (1905) Mk. 2·80—; Bucherer, Elemente d. Vectoranalysis mit Beispielen aus d. Physik, Teubner (1903) Mk. 2·40 —; Jahnke, Vorlesungen über Vectorenrechnung Teubner (1905) Mk. 5·60 —; Laub „Krótki zarys analizy wektorów“ w Wiadomościach matemat. IX. (1905) [Warszawa, rb. 3·— rocznie].

żywsza niż w mechanice, ale także tutaj postęp polega raczej na wykonaniu szczegółów i stopniowem wydoskonaleniu metod eksperymentalnych, niż na pojawieniu się nowych idei otwierających niespodziewane widnokręgi, jak to miało miejsce w elektronice.

Rozszerzył się obręb temperatur dla nas dostępnych i wydoskonalono metody ich mierzenia. Szczęśliwy pomysł Hampsona i Lindego: zużytkowania oziębienia, które według doświadczeń Joule Kelvina występuje przy statecznym przepływie powietrza z wyższego ku niższemu ciśnieniu, i nagromadzenia tego efektu zapomocą regeneratora aż do skroplenia powietrza, uprzystępniło w nadzwyczajny sposób owe niskie temperatury[1]).

Wodór w zwykłej temperaturze zachowuje się przeciwnie jak powietrze t. j. ogrzewa się przy tego rodzaju rozprężeniu, ale poniżej t. zw. temperatury inwersyi, która u wodoru wynosi -80^0, okazuje podobne właściwości jak powietrze; można go zatem odtąd dalej oziębiać, aż do skroplenia, zapomocą przetłaczania przez przyrząd Hampsona. Olszewski nadał w tym celu owemu przyrządowi bardzo odpowiednią formę, tak że zapomocą tego, stosunkowo niekosztownego aparatu, o skromnych rozmiarach, można w przeciągu kilkunastu minut otrzymać wodór w stanie ciekłym (temperatura $-252{\cdot}5^0$) a to jest doświadczenie, które jeszcze w roku 1898 przez Dewara z ogromnym nakładem materyalnym dokonane, wielkiego rozgłosu nabyło w świecie naukowym. Wszystkie inne gazy łatwiej dają się skroplić, z wyjątkiem helu[2]), którego Olszewski nie zdołał otrzymać w stanie ciekłym, mimo że doszedł aż do -271^0, to jest dwóch stopni powyżej bezwzględnego zera, a Olszewski nawet powątpiewa, czy skro-

---

[1]) Popularna broszurka o skropleniu powietrza: Nowicki u. Mayer, Flüssige Luft, 50 str., M. Ostrau, Papauschek 2 Aufl. (1906) K. 1·60; obszerniejsze jest dziełko: Kausch, Herstellung, Verwendung von flüssig. Luft, Weimar (1905) 224 str. Mk. 4·60; wyczerpujące zestawienie obecnych naszych wiadomości o skropleniu gazów znajduje się w świetnem dziele: Travers-Estreicher, Experimentelle Untersuchungen von Gasen, Vieweg 1905, Mk. 9 —.

[2]) Gaz jednoatomowy, o ciężarze atomowym 4, odkryty w r. 1895 przez Ramsaya w gazach zawartych w niektórych rzadkich minerałach (Cleveit, Samarskit, Bröggerit, Fergusonit), a według nowszych badań zawarty też, choć w nadzwyczaj drobnych ilościach (jednomilionowa część), w powietrzu. Posiada widmo bardzo charakterystyczne, zwłaszcza linię żółtą, która już w r. 1868 przez Lockyera we widmie słonecznem była obserwowana, i tak obecność nowego pierwiastka na słońcu zdradziła.

plenie helu kiedykolwiek się uda. Z tej też przyczyny termometry napełnione helem, jako gazem najdoskonalszym, najlepiej się nadają do mierzenia niskich temperatur.

W dziale wysokich temperatur również termometrya znacznych dokonała postępów. Do niedawna różni autorowie podawali temperatury w obrębie 1035° do 1092° jako punkt topliwości złota, co ilustruje niepewność dotychczasowych metod mierzenia takich temperatur. W ostatnich latach zaś oznaczono ten punkt (1063·5°), jako też punkty topliwości różnych innych metali, z wielką dokładnością zapomocą mozolnych badań (w Physikalisch. Techn. Reichsanstalt), polegających na użyciu specyalnego rodzaju termometrów gazowych. Obecnie zatem tych punktów wytycznych możemy używać do konstrukcyi podziałki dla termometrów oporowych lub ogniw termoelektrycznych, jakie różne firmy we formie dla praktyki dogodnej wytwarzają, i tak możemy mierzyć bez żadnych trudności temperatury do 1000° z dokładnością ułamka jednego procentu, a z niewiele mniejszą dokładnością temperatury dosięgające punktu topliwości platyny: 1710° (Harker). Poznanie dokładne praw promieniowania otwiera nam nawet drogę do mierzenia temperatur jeszcze bez porównania wyższych.

Wydoskonaliły się tym sposobem znakomicie nasze narzędzia służące do poznawania zjawisk termicznych, ale inną jest kwestya, o ile istotnie w poznawaniu tych zjawisk postąpiliśmy, i o ile poszliśmy naprzód w zrozumieniu praw niemi rządzących. Pod pierwszym względem niewątpliwie postęp jest znaczny. Wzrasta z roku na rok materyał nagromadzony przez eksperymentalistów; własności termodynamiczne gazów i cieczy, pomiary związane ze zmianą stanu skupienia, z prężnością pary, ciepłem właściwem, przewodnictwem cieplnem i t. p. tworzą dla nich niewyczerpane i wdzięczne pole pracy.

Nie można jednak twierdzić, aby również owocnemi się okazały wysiłki teoretyków do zrozumienia tych zjawisk. Tak n. p. nie powiodły się dotychczas rozpaczliwe ich, wciąż ponawiane próby ujęcia olbrzymiego materyału, odnoszącego się do równania charakterystycznego („Zustandsgleichung", równanie łączące objętość z temperaturą i ciśnieniem) we wzór racyonalny. Wiemy aż nadto dobrze, że wzór V. d. Waal'sa jest nieścisły, wiemy że zasada stanów odpowiednich nieco więcej do prawdy jest zbliżona,

potrafimy oczywiście skonstruować wzory empiryczne z większą ilością spółczynników, dość dokładne dla każdej danej substancyi, ale wzoru pod każdym względem lepszego niż V. d. Waal'sa, t. j. dokładnego i racyonalnego, dotychczas nie znaleziono.

Trzeba atoli zaznaczyć stanowczy postęp, w kierunku nietylko doświadczalnym ale też teoretycznym, na polu pokrewnych zjawisk odbywających się w mieszaninach cieczy i także w znajomości stałego stanu skupienia i praw topliwości (prace Tammanna).

Dwie wielkie idee, które zrodziły się na polu nauki o cieple i które służyły nam jako przewodniki w zrozumieniu jej zjawisk, a z czasem nawet całokształt fizyki objęły, mianowicie system termodynamiczny i teorya kinetyczna, nie doznały w ostatnim czasie znaczniejszego przeobrażenia lub wykształcenia. Teorya kinetyczna[1]) ma dalej idące dążenia, bo usiłuje głębiej wniknąć w istotę rzeczy i zdać sprawę nietylko z ogólnych praw rządzących materyą, ale nawet także z liczbowych spółczynników różnych ciał (spółczynniki lepkości, przewodnictwa gazów, stosunek ich ciepła właściwego i t. p.), podczas gdy termodynamika je przyjmuje jako empirycznie dane.

Lecz teorya ta, po nadzwyczajnym rozkwicie w rękach Maxwella, ugrzęzła częściowo w trudnościach matematycznych — mianowicie o ile chodzi o konsekwentne przeprowadzenie różnych hipotez co do działania sił molekularnych, a zwłaszcza o objęcie właściwości gazów zgęszczonych i cieczy — częściowo zaś w nadzwyczaj zawiłych i logicznemi trudnościami najeżonych dociekaniach nad ścisłością podstawowego prawa Maxwell-Boltzmanna o rozdziale energii kinetycznej w systemach mechanicznych.

Był nawet czas, kiedy zdawało się, że pewien odłam uczonych, ubóstwiających metodę termodynamiczną, a tem silniej zwalczających metodę kinetyczną, t. zw. energetycy, z Ostwaldem na czele, zdołają zupełnie wytępić z nauki nawet podstawowe pojęcia teoryi kinetycznej: drobin i atomów, a na ich miejscu zostawić tylko rozmaite rodzaje energii.

Tymczasem teorya kinetyczna na nowo odżyła w dziedzinie elektryczności, gdzie wzbogacona pojęciami elektroniki, taką ży-

---

[1]) Zajmujący, popularnie napisany zarys mechanicznej teoryi światła, ciepła i teoryi elektronów, wraz z wykładem wstępnych wiadomości mechaniki podaje: Lorentz-Tołłoczko: Poglądy i teorye fizyki współczesnej, Warszawa, Wende, (1904) 288 str.

wotność i płodność okazała, i tak dalece swe podstawowe założenia umocniła, że dzisiaj większem uznaniem się cieszy niż kiedykolwiek. Lecz o tych działach teoryi elektryczności już mówiliśmy (str. 9).

W obrębie dawnych problemów[1]) zaś należy zaznaczyć oprócz różnych drobniejszych przyczynków wciąż jeszcze toczącą się dyskusyę nad prawem Maxwell-Boltzmanna (Burbury, Jeans, Rayleigh i inni), a zwłaszcza Jeans'a próbę pogodzenia tego prawa z teoryą promieniowania. Nie zdaje się, żeby Jeans'a badania tę kwestyę już całkowicie wyjaśniały, ale w każdym razie musimy je uznać jako śmiałą próbę rozwiązania problematu dotychczas starannie omijanego.

Obecnie przeważa tendencya pojednawcza między uczonymi obu kierunków (termodynamicznego i kinetycznego): panuje przekonanie, że trudności które nastręcza pogodzenie teoryi kinetycznej z drugą zasadą termodynamiki, mogą być zupełnie usunięte, jeżeli tej zasadzie nie przypisujemy bezwzględnej matematycznej ścisłości, lecz ją pojmujemy, jak w pewnym sensie wszystkie prawa fizyki pojmować należy: jako regułę prawdopodobieństwa, ważną w praktyce z ogromnem przybliżeniem. Jest to jednak raczej logiczne ograniczenie zasad termodynamiki, o znaczeniu więcej teoretycznem niż praktycznem, gdyż żadnej dotychczas nie mamy wątpliwości o prawdziwości tych zasad, w praktycznem znaczeniu tego słowa. Przeciwnie, zasada energii i zasada Carnota należą do najpewniej ustalonych praw fizycznych, któremi cała fizyka obecna na wskróś przesiąknęła.

Jeżeli im w ostatnich czasach jakiś zarzut czyniono, to tylko że płodność ich pozornie się wyczerpała, że — przynajmniej we właściwej fizyce od długiego czasu żadnego ważniejszego odkrycia nie spowodowały.

Tymczasem niespodzianie pojęcie entropii żywotność swą okazało w teoryi promieniowania (badania Wiena, Planka patrz str. 20.) i tak nawet zjawisko pozornie nieodwracalne dało się podciągnąć pod schemat zasady Carnota.

---

[1]) Krótki zarys teoryi kinetycznej gazów i cieczy z uwzględnieniem niektórych nowszych postępów daje: Jäger, Die Fortschritte d. kinetischen Gastheorie, Vieweg (1906) Mk. 3·50. Zob. także Smoluchowski „O nowszych postępach na polu teoryj kinetycznych materyi“, Prace mat. fiz. (Warszawa) XII. (1901) str. 112—135.

V.

Najwdzięczniejszem jednak i długo jeszcze niewyczerpanem polem zastosowania tych metod termodynamicznych okazała się chemia. Już w roku 1858 Kirchhoff pierwszy przekroczył granicę zjawisk dawniej nazwą fizycznych objętych, gdy metodę termodynamiki zastosował do roztworów.

To był izolowany fakt, ale od przeszło dwóch dziesiątek lat cały szereg badaczy coraz śmielej, z coraz rosnącym rozmachem zaczął wkraczać w dziedzinę właściwej chemii, przekonawszy się że stany równowagi chemicznej tym samym prawom podlegają co fizyczne stany równowagi termodynamicznej, jakie nam znane są n. p. w zjawiskach stanu skupienia[1]), jednem słowem, że na tem polu nie ma żadnej różnicy między fizyką a chemią. Zjawiska roztworów, dyssocyacyi, aliażów, modyfikacyi allotropicznych, polymorfizmu i w ogóle wszystkie odwracalne reakcye chemiczne ujęte zostały w schemat termodynamiki, a z tych części chemii w ten sposób zdobytych przez fizykę utworzono nowy dział, pod nazwą chemii fizycznej. Z dnia na dzień rośnie obszar, gdzie chaotyczny materyał empiryczny, nagromadzony przez chemię, porządkuje się w racyonalną systematyczną całość; zwłaszcza że w tem za przykładem termodynamiki poszła także elektryczność, rodząc teoryę dyssocyacyi elektrolitycznej, która obecnie dyktuje prawa w całej dziedzinie elektrochemii [2]) i która nowe światło rzuciła na rozległe dziedziny chemii właściwej.

Niepodobna podać tu choćby najpobieżniejszego zarysu postępów w ostatnich kilkunastu latach dokonanych przez całą falangę badaczy tej nowej dziedziny. Muszę się ograniczyć na wskazaniu broszurki Vant'Hoffa [3]), w której autor, jedna z pierwszych powag na tem polu, przedstawia kilka wytycznych zasad tej nauki w przystępnej formie, objaśniając je równocześnie wskazówkami na doniosłe zdobycze jej na polu metalurgii i na klasyczne

---

[1]) Tak n. p. rozkładanie się wapna przez palenie na tlenek wapna i kwas węglowy jest zupełnie analogiczne do zjawiska parowania cieczy, i ten sam wzór (Clapeyrona), który w tym razie określa wielkość t. zw. utajonego ciepła parowania, może w owym wypadku posłużyć do obliczenia ciepła zużytego na rozkład wapna (ciepło dyssocyacyi).

[2]) Treściwe podręczniki elektrochemii: Lüpke, Berlin, Springer (1899) Le Blanc, Leipzig Leiner (1903) 284 str. Mk 7, —; Arrhenius, Leipzig (1901) 305 str. Mk. 8·75.

[3]) Van't Hoff: Acht Vorträge über physikalische Chemie, Vieweg 1902.

badania soli Stasfurckich. Zresztą literatura podręcznikowa tego działu tak wzrosła obecnie, że trudno uzasadnić jakiś wybór specyalny [1]).

Nieco dłużej jednak wypadnie nam zatrzymać się nad rozkwitem pewnego działu chemii fizycznej, ściśle związanego z fizyką a szczególnie z elektroniką, najmłodszego z wszystkich, bo właśnie dopiero 10 lat istniejącego, który jednak już wydał wyniki o zasadniczem znaczeniu dla całej chemii i fizyki: działu promieniotwórczości [2]).

Początkowo, po odkryciu promieni uranowych przez Bequerela 1896 i pierwszych badaniach Państwa Curie, uważano promieniotwórczość za zupełnie wyjątkową właściwość, ograniczoną do kilku substancyi napotykanych w rudach uranowych. Obecnie wiemy, że oprócz zasadniczych pierwiastków, uranu, radu, toru i aktynu, istnieje jeszcze cały szereg innych substancyi promieniotwórczych, które tak samo jak tamte na nazwę pierwiastków chemicznych zasługują; wiemy obecnie że owe ciała są ogromnie rozpowszechnione w naturze; że nie tylko drobne ilości radu i jego emanacyi w prawie wszystkich źródłach mineralnych (Gastein Karlsbad, Szczawnica itd.) napotykamy, ale ślady jego znajdujemy, niemal wszędzie w ziemi i we wolnej atmosferze ziemskiej [3]). Co prawda, że tu zwykle chodzi o takie małe ilości, które wykazać się nie dają żadnemi chemicznemi ani spektroskopijnemi metodami, tylko jedynie metodą elektryczną. Metoda ta, polegająca na mierzeniu, o ile powietrze — w normalnym stanie idealny izolator — pod ich wpływem nabywa zdolności przewodzenia elektryczności,

[1]) Wymienimy tylko kilka nowszych podręczników · Van't Hoff, Vorlesungen ü. theoret. u. physik. Chemie, Vieweg (1898—1900) 3 vol. Mk. 14 —; B. Roozeboom, Die heterog. Gleichgewichte, Vieweg (1901—1904) 2 vol. Mk. 18. —; Jüptner, Vorlesungen ü. physik. Chemie, Leipzig (1904) Mk. 8.

[2]) Treściwy pogląd na prace podstawowe daje dysertacya doktorska Pni Curie-Skłodowskiej, przetłumaczona na polskie pod tytułem: Badanie ciał radyoaktywnych Warszawa 1904. Nowszy rozwój tej dziedziny przedstawia w bardzo zajmujący sposób: Soddy, Die Radioactivität, Leipzig (1904) Mk. 6·40. Wyczerpującym podręcznikiem jest: Rutherford, Radioactivity, Cambridge (1905) Mk. 12·50. Liczne artykuły o nowszych postępach w: Jahrbuch f. Radioactivit. u. Elektr. cyt. str. 7.

[3]) Co więcej, zdaje się rzeczą udowodnioną, że nawet zwykłe metale i inne ciała w pewnym, nadzwyczaj słabym stopniu posiadają zdolność promieniotwórczą (patrz referat Campbella w Zeitschr. f. Radioact. u. Elektr. II. (1905) p. 434.)

tak została wydoskonalona prze użycie nadzwyczaj czułych elektroskopów i elektrometrów, że z łatwością mogłaby wykazać tworzenie się jednego ionu na 1 cm^3 powietrza co sekundę, do czego wystarczyłaby obecność jednej bilionowej części gramu radu na kilkadziesiąt litrów powietrza.

Początkowo upatrywano we właściwościach promieni Becquerela największe podobieństwo do promieni Röntgena, a zwłaszcza w tem że tak samo przenikają blaszki metalowe, że działają na płytę fotograficzną i wzbudzają zdolność przewodnictwa w gazie otaczającym (tj. „ionizują go“). Obecnie zaś wiemy, że promienie te są zjawiskiem złożonem z trzech części, które rozdzielić się dają łatwo dzięki różnicom w zdolności przenikania. Najmniej przenikliwe części, t. zw. promienie α, które już przez nadzwyczaj cienkie (0·01 mm.) blaszki aluminiowe lub kartkę papieru są wstrzymane, odpowiadają promieniom anodowym, więc składają się z cząstek dodatnią elektrycznością nabitych. Promienie β, przenikające warstwy glinu grubości 1 mm., są szybkimi promieniami katodowymi (ujemnymi, patrz str. 12.), podczas gdy promienie γ, najwięcej przenikliwe promienie jakie znamy, przechodzące przez warstwy ołowiu kilku centymetrów grubości, są prawdopodobnie istotnymi promieniami Röntgena, bardzo „twardymi“ (patrz str. 18.) Te trzy rodzaje promieni zachowują się też różnie w polu magnetycznem lub elektrycznem; promienie γ nie doznają żadnego odchylenia; podczas gdy promienie α i β z powodu swych ładunków elektrycznych w przeciwnych kierunkach się odchylają.

Najwięcej zagadkową wydała się z początku kwestya, skąd się czerpie energia promieniowania, gdyż się zdawało, według obserwacyi nad uranem, że promieniowanie trwa wciąż bez żadnej zmiany, a więc że mamy tu do czynienia z niewyczerpanem źródłem energii. A jako miara obfitości tego źródła może posłużyć obserwacya, że 1 gr. chlorku radu wydaje na godzinę 100 kaloryi ciepła, wskutek czego substancya ta zawsze jest nieco cieplejsza od otoczenia. Później zauważono jednak, że w promieniowaniu pewnych substancyi świeżo wytworzonych występują z czasem wyraźne zmiany w składzie i natężeniu promieni, a równocześnie odkryto (Rutherford) wytwarzanie się nowego rodzaju substancyi promieniotwórczej, substancyi gazowej, t. zw. emanacyi. Dokładne zbadanie tych zjawisk zniewoliło Rutherforda i Soddy'ego do przy-

puszczenia, że cząstki stanowiące promienie α i β pochodzą z rozpadania się atomów substancyi promieniotwórczej, oraz że energia promieniowania pochodzi z wewnętrznej energii potencyalnej tego układu elektronów, który nazywamy atomem. Ten zapas energii wyczerpuje się zatem przez promieniowanie, i całe zjawisko musi ustać, gdy dojdzie do końca rozkładanie się atomów na pewne trwałe składniki, rozkładanie się, które postępuje w każdej substancyi z inną, ściśle określoną prędkością [1]).

Że zaś bezpośredniemi metodami (ważeniem) nie można spostrzec ubytku substancyi promieniotwórczej, tłumaczy się tem, że przemiany te postępują bardzo powoli; tak obliczono n. p. że w ciągu całego roku tylko jedna stumilionowa część uranu się rozkłada. Podczas tego rozkładu wyrzucane są cząstki α, a pozostaje substancya nazwana Uranium X, krótko żyjąca, która przy dalszym swym rozkładzie wytwarza promienie β. Dalsze stadya przemiany jeszcze nie są dokładnie znane, ale prawdopodobnie ostatecznym ich produktem jest rad. Rozkład radu łatwiej da się obserwować, gdyż pozostałość (po oddzieleniu się cząstki α,) jak wspominaliśmy jest gazem, t. zw. emanacyą radu. W kolejno po sobie następujących produktach rozkładu tej emanacyi [2]) zdołano dotychczas rozpoznać sześć różnych substancyi promieniotwórczych, z pomiędzy których jedna zapewne jest identyczna z polonem, odkrytem przez PP. Curie w rudzie uranowej. Osiadają one na ścianach naczynia zawierającego emanacyę, a promienie (α i β) przez nie wysyłane są tem, co początkowo uważano za promieniotwórczość wzbudzoną (inducirte Radioactivität) przez rad w swem otoczeniu.

Jakkolwiek ta teorya Rutherforda o rozkładzie atomów już olbrzymim materyałem dowodowym została poparta, możnaby jej przecież zarzucić, że dowody te polegają na użyciu jednej tylko metody pośredniej, t. j. owej nowo wypracowanej metody elektrycznej. Wszelkim wątpliwościom jednak koniec położyło odkrycie, udowodnione bezpośrednią obserwacyą widmową, że z „pierwiastka“ radu wytwarza się inny „pierwiastek“: hel.

---

[1]) Według prawa $n = n c_0^{-\lambda t}$. Czas potrzebny do rozkładu połowy wszystkich atomów danej substancyi wynosi n. p. dla radu 1300 lat, dla emanacyi radowej 3·8 dni, dla emanacyi torowej 53 sekund i t. p. Według tej szybkości zanikania radyoaktywności można w danym razie odwrotnie osądzić z jaką substancyą mamy do czynienia.

[2]) Nazwane Radium A, Radium B itd.

Prawdopodobnie właśnie owe cząstki α, wydzielające się z atomów radu i jego emanacyi, występują (po zobojętnieniu swych ładunków elektrycznych) jako atomy helu; na pewno tego jeszcze nie wiemy, ale w każdym razie musimy jako pewnik uznać fakt, który został stwierdzony przez pierwszorzędnych badaczy chemików, (Sir W. Ramsay i Soddy 1903, Curie i Dewar, Himstedt i Meyer, Debierne), mianowicie: że z emanacyi radu lub aktinu, zamkniętego do szczelnie zalutowanego naczynia, w czasie kilku tygodni wytworzył się hel, rozpoznawalny swem widmem charakterystycznem, które już dawno znane było we widmie słońca, zanim odkryto hel ziemski, i które jest pewniejszą cechą niż jakiekolwiek „reagens“ chemiczne.

Nasuwa się tu myśl, czy taka zmienność, choć bezporównania powolniejsza, nie jest może ogólną właściwością wszystkich pierwiastków chemicznych, czego dowodziłyby ślady promieniotwórczości, jakie miano wykryć u zwykłych metali, ale nie będziemy dalej snuć tych spekulacyi. Wystarczy przytoczenie owych suchych faktów i wystarczy wypowiedzenie słowa „ewolucya materyi“ [1]) ażeby nam dać odczuć ogrom perspektywy otwierającej się tu na całą dziedzinę chemii, na dzieje ziemi, wszechświata, ażeby nas przekonać, że nauka opuściła w ostatnich latach tor rutyną kilkusetletnią utarty i nową drogą ku nieprzewidzianym dziedzinom postępuje.

VI.

Zastanawiając się nad powyżej skreślonym rozwojem fizyki każdy przyznać musi, że twórcy teoryi elektronów wybudowali wspaniały gmach, który łączy w jedną całość wszystko co dotychczasowe teorye posiadały rzeczywiście wartościowego, a obejmuje jeszcze całe dziedziny nowych zjawisk, któreby inaczej były zupełnie niezrozumiałe. Kto się jednak wychował w zakresie pojęć tradycyą utartych, może będzie ubolewać, że zburzono równocześnie tyle z dawnych uświęconych teoryi, do których tak przywykliśmy, i sceptyczne mu się nasuną refleksye o zmienności zapatrywań i o marności naszych spekulacyi naukowych. Chyba takie doświadczenia nie dają nam nadziei, żebyśmy kiedykolwiek mogli dojść do trwałego światopoglądu! Czyż w obec tego dąże-

[1]) Tytuł wykładu Soddy'ego; po niemiecku: Soddy, „Die Entwicklung der Materie“ Leipzig 1904, Mk. 1·60.

nie nauki nie jest gonienie za fatamorganą, której nigdy nie osiągniemy?

Istotnie, przewrót taki, jaki obecnie przeżyliśmy (i jaki w mniejszych rozmiarach już często się powtarzał), musiałby każdy uważać za ubolewania godną rewolucyę, kto zadanie teoryi fizycznych upatruje w wykryciu wewnętrznego mechanizmu natury, w wykryciu prawdziwej istoty tego co nazywamy światem zewnętrznym, i kto uwierzył, że dotychczasowa fizyka wykryła tę istotę zjawisk natury.

Ale także pod tym względem, t. j. co do poglądu naszego na znaczenie samej pracy naukowej, nastąpiła zmiana, zwłaszcza dzięki krytycznym badaniom Kirchhoffa, Macha, Boltzmanna, Poincarego i innych [1]). Obecnie przeważna część uczonych porzuciła owe górnolotne aspiracye. Staliśmy się skromniejsi w ocenianiu doniosłości naszych badań naukowych, nie zapuszczamy się w odgadywanie tajemnic zapewne wogóle nie rozwiązalnych. Pamiętając o zaszczytnem mianie nauk ścisłych, zdajemy sobie zupełnie trzeźwo sprawę z tego co wiemy a czego nie wiemy, i tylko do tego dążymy, aby fizyka podała nam jak najlepszy model świata zewnętrznego — to jest „maszyneryę“ (złożoną z rozmaitych elementów, czy mechanicznych, czy n. p. elektrycznych, i z łączących je „praw fizycznych“), która nie potrzebuje bynajmniej posiadać takiej konstrukcyi jak to, co rzeczywiście jest, ale którąby nam dawała wyniki ile możności takie same jak zewnętrzny świat rzeczywisty, i tym sposobem pozwalała nam przewidywać jego zjawiska. Podobnie, budując maszynę do rachowania nie żądamy, żeby ona miała taką konstrukcyę jak nasza mózgownica, ale tylko ażeby rezultaty przez nią podane się zgadzały z obliczeniem przez nasz mózg wykonanem.

A tem większa będzie wartość danej teoryi fizycznej, czem 1) dokładniej wyniki jej się zgadzają z doświadczeniem i 2) czem większy jest zakres jej działania, tj. czem więcej zjawisk przez fizykę poznanych, albo nawet jeszcze nie odkrytych, ona obejmuje i ostatecznie 3) czem prostszą i zrozumialszą jest ta teorya.

---

[1]) Oprócz dzieła Macha (cyt. str. 24) i rozpraw Boltzmanna (umieszczonych w książce: Boltzmann, Populäre Schriften, Barth, (1905) 440 str. Mk. 9·—) przedewszystkiem polecamy gorąco dwa dziełka Poincaré'go: Wissenschaft u. Hypothese, Teubner (1906), 346 str. Mk. 4·80; D. Wert d. Wissenschaft, Teubner (1906) 252 str. Mk. 3·60.

Odsłonięcie tajemnic wszechświata było ideałem bardzo poetycznym, w obec którego zadanie nauki powyżej określone może się wydawać skromnem, ale w rzeczywistości posiada ono większą wartość, jako cel racyonalny, dający się osiągnąć. Z tego punktu widzenia upadek teoryi emisyjnej światła Newtona i zwycięstwo undulacyjnej teoryi Fresnela, upadek tejże i zwycięstwo teoryi elektromagnetycznej, tak samo jak upadek teoryi elektrycznych Webera i zwycięstwo teoryi Maxwella i t. d. nie przedstawiają się jako kataklizmy, lecz jako etapy w stale postępującej — a obecnie coraz szybciej pospieszającej — ewolucyi nauki. A czem dalej tą drogą doskonalenia i uogólniania teoryi postępujemy, tem lepiej potrafimy naszym umysłem objąć przeszłość i tem dalej i dokładniej umiemy przewidzieć przyszłość, a to są zadania, których umysł nasz pożąda i których praktyka życiowa wymaga.

Kto chce, może zresztą wierzyć w objektywną realność świata wymyślonego przez naukę obecną, może go to nawet pobudzić do śmielszego postępowania drogą nowych odkryć, ale niech się wystrzega zbytniego konserwatyzmu i zbytniego zamiłowania do raz przyjętego kółka myśli, gdyby kiedyś fakty sprzeczne lub jakaś inna lepsza teorya miały się zjawić.

Musimy się ograniczyć na tych kilku uwagach co do kwestyi poruszonych w ostatnim oddziale, gdyż nie należą one, ściśle biorąc, do właściwej fizyki, lecz — sit venia verbo — do filozofii fizyki, t.j. części ogólnej teoryi poznania.

Chciałbym jednak przy końcu, choć pobieżnie poruszyć jeszcze stronę czysto dydaktyczną naszego przedmiotu, a mianowicie chciałbym uwagę zwrócić na kilka dzieł, które charakteryzują postęp w metodach nauczania fizyki w szkołach średnich.

Z jednej strony wymienić tu należy Höfler'a „Physik"[1]), która posłużyć może jako wzór, jak tradycyjne sposoby nauki fizyki w szkołach średnich pogłębić należy w kierunku logiczno-spekulatywnym, ażeby ucznia nakłonić nie do bezmyślnego wchłaniania materyału podanego, lecz do samodzielności w myśleniu indukcyjnem i ścisłości w analyzie logicznej. Tak pojmowana na-

---

[1]) Vieweg (1904) 966 str. Mk. 16 —; równocześnie wydano skrócenie jako podręcznik dla uczniów wyższych gimnaz. itp. pod tytułem: Höfler Naturlehre, Gerold 407 str. K. 5 —, i jeszcze więcej skrócony wyciąg jako: Höfler Repetitorium d. Physik, Vieweg 203 str. Mk. 3.50.

uka istotnie służyć może jako szkoła myślenia, a z pewnością nie utrudnia przedmiotu lecz ułatwia go, umożliwiając jego głębsze zrozumienie i wlewając zapał do samodzielnego rozumowania.

Byłby to jednak jednostronny kierunek postępu metodyki, gdyby go nie połączono z kierunkiem eksperymentalnym, charakteryzowanym przez dzieła jak Schreber-Springmann, Noack, Hahn, Müller [1]).

Wzrasta wciąż opozycya przeciwko nauczaniu „książkowemu" i utrwala się żądanie reformy w tym kierunku, ażeby uczeń się przekonał, że naturalną drogą poznawania świata nie jest jedynie wykład nauczyciela lub papier drukowany, tylko bezpośrednia obserwacya natury. Tego zaś uczeń nigdy nie zrozumie, dopóki sam doświadczeń nie będzie wykonywał, a pokazywanie doświadczeń w klasie jest tylko bardzo niedostatecznym półśrodkiem. Uznając tę konieczność w Anglii i Ameryce oddawna zaprowadzono we wszystkich niemal szkołach pracownie fizyczno-chemiczne dla uczniów, w których przeważna część nauki się odbywa, a także na kontynencie europejskim, zwłaszcza w Niemczech, szybko wzrasta liczba szkół w ten sposób wyposażonych.

Symptomem tego ruchu są dziełka powyższe; kto je do ręki weźmie, zadziwi się jak prostymi przeważnie środkami wykonać można najróżniejsze, bardzo pouczające doświadczenia z wszystkich dziedzin fizyki, a kto choćby w bardzo ograniczonych rozmiarach (n. p. jako nagroda dla lepszych uczniów) takie ćwiczenia zaprowadzi z pewnością wynagrodzonym zostanie powiększoną gorliwością i zamiłowaniem uczniów w przedmiocie.

Uwzględnienie tego kierunku eksperymentalnego w połączeniu z wydoskonaleniem logicznem według Höflera stanowi istotny postęp w metodyce nauczania; co do treści jednak i tutaj występuje nieco wada wspólna większej części podręczników szkolnych: że są zbyt konserwatywne. Kto nie chce się poddać zarzutowi zacofania, musi je koniecznie uzupełniać uwzględnieniem najnowszego rozwoju nauki. W szkicu powyższym oczywiście można

---

[1]) Schreber-Springmann: Experimentirende Physik, Barth (1906), 2. vol. Mk. 13·20; Noack: Aufgaben f. physik. Schülerübungen, Berlin Springer (1905), 170 str., Mk. 3·— Hahn: Physik. Freihandversuche, Berlin Salle (1905), Mk. 3·75; Hahn, Wie sind physik. Schülerübungen praktisch zu gestalten? 67 str. Berlin, Springer (1903); Mk. 2. —: F. Müller: Technik d. physik. Unterrichts, Berlin Salle (1906). 370 str., Mk. 6.

było tylko zaznaczyć wytyczne kierunki tego rozwoju, ale zwracam specyalnie uwagę czytelników na materyał bibliograficzny poruszony w dopiskach, oraz pozwolę sobie wskazać na Riecke's Lehrb. d. Physik [1]) jako przykład podręcznika skromnych rozmiarów, który także na nowsze postępy naukowe kładzie należyty nacisk, oraz na dwa wspaniałe, obecnie wychodzące dzieła zbiorowe, które objąć mają całokształt naszych wiadomości w dziedzinie fizyki i już w obecnej formie nieocenione przysługi oddają przy pracy na tem polu, a mianowicie w kierunku więcej doświadczalnym: Winkelmann Handbuch d. Physik (w sześciu tomach, Barth) a w kierunku teoretycznym: tom IV. (mechanika) i tom V. (fizyka) dzieła Encyklopädie d. mathem. Wissenschaften, wydawanego przez Teubnera w Lipsku.

---

[1]) Leipzig, Veit (1906), 2 vol Mk. 20·—.